



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

**JERE JÄNNES**

**KÄYTTÖVARMUUDEN JA TURVALLISUUDEN HALLINTA  
SUUNNITTELUN ALKUVAIHEISSA**

Diplomityö

Tarkastaja: professori Jouni Kivistö-  
Rahnasto

Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Automaatio-, kone- ja materiaalitekni-  
kan tiedekuntaneuvoston kokouksessa  
6. huhtikuuta 2011

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

**JÄNNES, JERE:** Käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallinta suunnittelun alkuvaiheissa

Diplomityö, 89 sivua, 19 liitesivua

Toukokuu 2011

Pääaine: Turvallisuustekniikka

Tarkastaja: professori Jouni Kivistö-Rahnasto

Avainsanat: RAMS, tuotekehitys, käyttövarmuus, turvallisuus

Tämän tutkimuksen tavoitteena on luoda ja esittää malli, jonka avulla RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) -hallinta pystytään liittämään osaksi liikkuvia työkoneteollisuuden suunnittelevien ja valmistavien yritysten toimintaprosesseja siten, että se tukisi erityisesti suunnitteluprosessin alkuvaiheita. Työkonesektorilla, kuten monella muullakin teollisuuden alalla, on havaittavissa siirtymää laitetoimittajasta kohti laajempaa palveluliiketoimintaa. Tämä muutos liiketoimintakentässä edellyttää uusien toimintatapojen ja -mallien kehittämistä sekä käyttöönottoa.

Diplomityö voidaan jakaa kolmeen selkeään pääosaan. Tausta- ja teoriaosassa selvitetään RAMS -hallintaan liittyviä näkökohtia, tutkitaan tuotekehityksen ja innovoinnin alkupään vaiheita sekä hahmotellaan kirjallisuudessa esitettyjä jo olemassa olevia RAMS -hallinnan malleja. Lisäksi teoriaosassa käsitellään liiketoiminnan kehityssuuntausta, testauksen V-mallia sekä kuvataan lyhyesti konstruoitavan mallin kannalta olennaisia riskianalyysimenetelmiä. Työn empirisessä osiossa tutkitaan kolmen eri haastattelukierroksen kautta saatuja havaintoja käyttövarmuuden hallinnan nykytilasta työkoneteollisuuden parissa. Viimeisessä pääosassa konstruoidaan tutkittujen teorioiden ja käsitellyn haastatteluaineiston synteessinä malli RAMS -hallintamallista työkoneteollisuuden tuotekehityksen alkuvaiheita silmällä pitäen.

Tutkimuksen aikana on käynyt selväksi, että monilta työkonesektorin yrityksiltä puuttuu vakiintuneet toimintatavat RAMS -tekijöiden hallitsemiseksi erityisesti tuotekehityksen alkuvaiheissa. Toisaalta on voitu havaita, että yritykset ovat tunnistaneeet tämän puutteen ja samalla tarpeen toimintamallien luomiselle. Tehtyjen haastattelujen perusteella on havaittavissa, että muutos laitetoimittajasta kohti palveluliiketoimintaa on monilta osin vielä kesken. Palveluliiketoimintaan siirtyminen on kuitenkin samanaikaisesti tunnistettu tulevaisuuden kehityssuunnaksi myös työkonesektorilla. Käyttövarmuuden ja turvallisuuden koko elinkaaren aikaista ennustettavuutta on kyettävä parantamaan, jotta pystytään vastaamaan liiketoimintakentässä tapahtuviin muutoksiin.

Tässä diplomityössä luotu kolmiosainen RAMS -hallintamalli vastaa tunnistettuihin haasteisiin. Luotu malli sai positiivisen vastaanoton niiden aihepiiriin kuuluvien yritysten parissa, joita haastateltiin mallin arvioimiseksi. Tähän työhön liittyen tulevaisuuden merkittävimpana tutkimuksellisenä haasteena voidaan pitää yritys kohtaisten toimintamallien kehittämistä tässä työssä esitetyn mallin pohjalta. Yritysten kannalta eräs merkittävä haaste on saattaa kehitettävät toimintatavat jokapäiväiseen käyttöön siten, että koko organisaatio saadaan toteuttamaan samaa mallia ja siihen liittyviä toimintatapoja.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

**JÄNNES, JERE:** Availability and safety management in early design phases

Master of Science Thesis, 89 pages, 19 Appendix pages

May 2011

Major: Occupational Safety Engineering

Examiner: Professor Jouni Kivistö-Rahnasto

Keywords: RAMS, product development, availability, safety

The aim of this study is to create and represent a model to support RAMS management in the early stages of product development. In mobile working machine industry as well as in many other industries companies are facing a change from equipment supplier towards service business. This change in business field requires seeking and implementation of new working practices and models.

This thesis can be divided into three main parts. In the theory section RAMS management aspects are sorted out, early stages of product development and innovation are studied and existing RAMS management models are reviewed. Also trend in the business field, V model and risk analysis methods relevant to model constructed in this thesis are discussed. In the empirical section the state of the art of availability management in mobile working machine industry is being studied due to three different interviews. In the last main part, a RAMS management model for early stages of product development in machine industry is being constructed as a synthesis of theoretical and empirical knowledge.

During this research it has become clear that many machine sector companies lack well-established policies to manage RAMS factors especially in the early phases of product development. On the other hand companies have recognized this problem and at the same time the need for creating such models. According to interviews it has become clear that the transition from device supplier to service provider is still in progress. This transition is recognized to be the future in the machine industry sector. To be able to respond to the changes taking place in the business field, companies must be able to improve the predictability of safety and availability concerning the whole lifecycle of a product.

The three part RAMS management model created in this thesis got a positive feedback from the companies where it was evaluated through interviews. Most important research challenge related to this work in the future is to create company specific management models based on the model constructed in this thesis. For companies one significant challenge is to implement working practices so that the whole company follows the same procedure.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty VTT:lle osana RelSteps -hanketta. Projekti alkoi elokuussa 2010 ja jatkuu vuoden 2012 loppuun saakka.

Tahdon osoittaa kiitokseni koko VTT:n ”Luotettavuuden hallinta ja järjestelmäturvallisuus” -tiimille. Erityiskiitokset Pasi Valkokarille työn ohjauksesta ja joustavuudesta käytännön asioissa sekä Markku Reunaselle joskus pitkäksikin venyneistä opetustuokiosta, perinneteoksista ja kärsivällisyydestä esittämiini kysymyksiin vastaamisessa. Lisäksi haluan osoittaa kiitoksen sanat Jyrille vertaistuesta sekä työhuoneen kanssani jakaville Tonille, Terolle ja Susannalle ratkaisusta lukuisiin ongelmiini. Professori Jouni Kivistö-Rahnastolle kiitokset työn tarkastamisesta. Lisäksi haluan kiittää niitä teollisuuden toimijoita, jotka uhrasivat aikaansa luomani mallin arvioimiseen.

Kiitän vanhempiani sekä henkisestä että taloudellisesta tuesta ja paimennuksesta kaikkina näinä vuosina. Veljeäni kiitän esimerkin antamisesta, siskoani huolenpidosta ja kaikkia kavereitani kulkemisesta rinnallani. Puolisolleni Hannalle kiitokset rakkaudesta, pitkästä pinnasta ja ymmärryksestä.

Tampereella 11.5.2011

---

Jere Jännes

# SISÄLLYS

|   |     |
|---|-----|
| Termit ja niiden määritelmät .....                                  | vii |
| 1 Johdanto .....  | 1   |
| 1.1 Tausta ja ongelma .....   | 1   |
| 1.2 Aiheeseen liittyvästä tutkimuksesta .....                       | 2   |
| 1.3 Tutkimuksen tavoite .....                                       | 3   |
| 1.4 Tutkimuksen rajaukset .....                                     | 4   |
| 1.5 Tutkimusote ja työn vaiheet .....                               | 4   |
| 2 Tausta ja teoria .....  | 7   |
| 2.1 RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) ..... | 7   |
| 2.2 Yritysten liiketoiminnan kehityssuuntaus .....                  | 15  |
| 2.3 RAMS -hallintamalleja .....                                     | 18  |
| 2.3.1 EN 50126 (railway RAMS) .....                                 | 18  |
| 2.3.2 SFS-EN 60300-sarja .....                                      | 21  |
| 2.3.3 Esimerkki RAMS -suunnitelmasta .....                          | 24  |
| 2.3.4 Turvakaari-hanke .....  | 25  |
| 2.4 Tuotekehitysprosessi .....                                      | 26  |
| 2.4.1 Konseptisuunnittelu ja innovoinnin alkupää .....              | 27  |
| 2.4.2 Tuotekonsepti .....   | 32  |
| 2.4.3 Stage-Gate® -malli .....                                      | 33  |
| 2.5 Riskianalyyseistä .....   | 37  |
| 2.5.1 Alustava vaara-analyysi (PHA) .....                           | 39  |
| 2.5.2 Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) .....                         | 39  |
| 2.5.3 Vikapuuanalyysi (VPA) .....                                   | 40  |
| 2.5.4 Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) .....                | 40  |
| 2.5.5 Ihmisen luotettavuusanalyysi (HRA) .....                      | 41  |
| 2.5.6 Työn turvallisuusanalyysi .....                               | 41  |
| 2.5.7 Tarkistuslistat .....   | 42  |
| 2.6 Testauksen V-malli .....  | 42  |
| 2.7 Työn teoreettinen viitekehys .....                              | 43  |
| 3 Aineisto ja työvaiheet .....                                      | 46  |
| 3.1 Yrityshaastattelut .....  | 46  |
| 3.2 Kirjallisuus .....  | 46  |
| 3.3 Työn vaiheet .....  | 47  |
| 4 Päähavainnot haastatteluista .....                                | 51  |
| 4.1 Esiselvitys .....   | 51  |
| 4.2 Web-kysely .....  | 53  |
| 4.3 Varsinaiset yrityshaastattelut .....                            | 57  |
| 5 RAMS -hallinta tuotekehityksen alussa .....                       | 59  |
| 5.1 Malli tuotekehityksen alkuvaiheiden RAMS -hallinnasta .....     | 59  |
| 5.1.1 Villi ideointi .....  | 62  |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.1.2 | Asiakastarpeiden ja vaatimusten tunnistaminen, sekä idean soveltuvuus yrityksen strategiaan ..... | 62 |
| 5.1.3 | Tavoitespesifikaatioiden luominen ja vaatimusten asettaminen.....                                 | 63 |
| 5.1.4 | Vaihtoehtoisten tuotekonseptien luominen järjestelmätasolla.....                                  | 64 |
| 5.1.5 | Järjestelmätason konseptin valinta ja vaatimusten allokointi osajärjestelmille.....               | 65 |
| 5.1.6 | Osajärjestelmätason konseptien luominen ja valinta .....  | 66 |
| 5.1.7 | Lopulliset spesifikaatiot ja projektin suunnittelu.....   | 66 |
| 5.1.8 | Yleisiä huomioita malliin liittyen .....  | 67 |
| 5.2   | RAMS -suunnitelman laatiminen.....  | 69 |
| 5.3   | Suunnittelun alkupään RAMS -tehtävät .....  | 70 |
| 6     | Mallin validointi.....  | 76 |
| 6.1   | Yritys 1 .....  | 76 |
| 6.2   | Yritys 2.....   | 78 |
| 6.3   | Asiantuntijaryhmä.....  | 79 |
| 7     | Tulosten tarkastelu .....   | 81 |
| 8     | Johtopäätökset.....   | 84 |
|       | Lähteet.....  | 85 |

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>FIMA</b>                | Forum for Intelligent Machines ry. FIMA on liikkuvien työkoneiden parissa toimivien yritysten yhteistyöfoorumi, joka kokoaa yhteen toimialan suomalaiset osaajat.  |
| <b>Kunnossapidettävyys</b> | Kohteen kyky tietyissä käyttöolosuhteissa pysyä tai palautua tilaan, jossa se voi suorittaa vaaditun toiminnon, kun kunnossapito on tehty tietyissä olosuhteissa ja käyttäen tiettyjä menetelmiä ja resursseja. (SFS-EN 60300-1 2004)          |
| <b>Kunnossapitovarmuus</b> | Kunnossapito-organisaation kyky tarvittaessa tietyissä olosuhteissa järjestää tarvittavat resurssit kohteen kunnossapitoon tietyn kunnossapitopolitiikan puitteissa. (SFS-EN 60300-1 2004)   |
| <b>Käyttövarmuus</b>       | Kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa ja tietyllä ajan hetkellä tai tietyn ajanjakson aikana olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla. (SFS-EN 60300-1 2004) |
| <b>Luotettavuus</b>        | Yleistermi, jota käytetään kuvaamaan käyttövarmuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä kuten toimintavarmuus, kunnossapidettävyys ja kunnossapitovarmuus. (SFS-EN 60300-1 2004)  |
| <b>RAMS</b>                | Reliability (toimintavarmuus), Availability (käyttövarmuus), Maintainability (kunnossapidettävyys), Safety (turvallisuus).   |
| <b>Sumea alkupää</b>       | Innovaatioprosessin alku, varsinaista tuotekehitystä edeltävät vaiheet (engl. Fuzzy Front End FFE).  |
| <b>Systeemi</b>            | Systeemi eli järjestelmä on toisiinsa liittyvien tai vuorovaikutteisten tekijöiden yhdistelmä. (SFS-EN 60300-1 2004)   |
| <b>Toimintavarmuus</b>     | Kohteen kyky suorittaa vaadittu toiminto tietyissä olosuhteissa tietyn ajanjakson ajan. (SFS-EN 60300-1 2004)  |
| <b>Vaara</b>               | Henkilön loukkaantumisen, laitteen tai rakenteiden vahingoittumisen, materiaalin menettämisen, tai heikkenemisen järjestelmän kyvyssä suorittaa sille ennalta määrätty toiminto mahdollistava tila. (Hammer & Price 2001, s. 190)              |

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta ja ongelma

Käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallinta jo tuotekehityksen alkuvaiheista alkaen on erittäin tärkeää. Tuotteen koko elinkaaren aikaisten kustannusten ja saatavien hyötyjen osalta merkittävimmät päätökset tehdään tuotekehityksen aikaisissa vaiheissa. Alkuvaiheessa tehtyjen virheiden korjaaminen myöhemmin on erittäin kallista ja useissa tapauksissa jopa mahdotonta. Mitä tarkemmin suunniteltavan tuotteen spesifikaatiot pystytään määrittelemään ennen varsinaisen tuotekehityksen aloittamista, sitä varmemmin lopputuotteesta tulee menestyvä ja vaatimukset täyttävä.

Asiakasvaatimusten ja maailmanlaajuisessa mittakaavassa kiristyvän kilpailun myötä erilaisia teknisiä järjestelmiä toimittavat yritykset laajentavat toiminta-alueitaan yhä enenevissä määrin kohti palveluliiketoimintaa. Tässä tilanteessa nousee käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallinta aiempaa merkittävämmäksi tekijäksi liiketoiminnalle. Liiketoimintamallien muuttuminen viimeisten vuosien aikana edellyttää uusien ratkaisujen hakemista vanhojen tilalle. Myös jatkuvasti lisääntyvä huomio kestäväan kehitykseen on osaltaan vaikuttamassa käyttövarmuuden ja turvallisuuden lisääntyvään painoarvoon. Elinkaaren aikaiset tuotot ja kustannukset on kyettävä arvioimaan riittävällä luotettavuudella jo tuotteen elinkaaren alussa.

Liikkuvien työkoneiden parissa toimivissa yrityksissä on tunnistettu tarve kehittää omaa käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallinnan osaamista, eli RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) -osaamista. Ongelmana on kuitenkin toimivien ja alan erikoispiirteet huomioon ottavien toimintamallien puute. Työkonealalle tyypillisiä piirteitä ovat esimerkiksi pienet sarjakoot, suuret tuotevariaatiot sekä erilaiset toimintaympäristöt. Erilaisia malleja on esitetty kirjallisuudessa, mutta niiden implementoiminen osaksi yritysten tuotekehitysprojekteja on osoittautunut hankalaksi. Uudelle ja selkeälle RAMS -hallintamallille on olemassa tarve yritysmaailmassa.

RAMS -hallintamallien puute ja sitä kautta systemaattisen käyttövarmuuden ja turvallisuuden varmistamisen vaikeus tuotekehityksen alkupäässä on merkittävä ongelma, jonka seuraukset nähdään usein vasta tuotteen elinkaaren myöhemmissä vaiheissa. Mikäli RAMS -näkökohtia ei systemaattisesti hallita jo tuotekehityksen alussa, saattavat kustannukset nousta merkittävästi. Lisäksi elinkaarikustannusten arviointi vaikeutuu ja tu-



lee epäluotettavammaksi, samanaikaisesti myös huomattavia mahdollisuuksia elinkaari-tuottojen osalta jää huomaamatta ja siten hyödyntämättä.

Kuten todettu, kasvaa käyttövarmuuteen liittyvien elinkaarikustannusten ja -tuottojen merkitys muuttuvassa liiketoimintakentässä jatkuvasti. Yritysten on vastattava tähän muuttuneeseen haasteeseen keskittymällä aiempaa tarkemmin tuotekehityksen alkuvaiheessa tehtävien päätösten koko tuotteen odotetun elinkaaren aikaisiin vaikutuksiin.

Työkonevalmistajien kiinnostuksen siirtyessä yhä enenevässä määrin kohti palveluliiketoimintaa, koskettavat elinkaaren aikaisen käyttövarmuuden ja turvallisuuden kautta saavutettavat pitkän aikavälin tuotannolliset tavoitteet lisääntyvästi myös konevalmistajia itseään.

## 1.2 Aiheeseen liittyvästä tutkimuksesta

Käyttövarmuutta on tutkittu, mutta esimerkiksi Suomessa ei ole ollut merkittäviä kansallisia tutkimushankkeita Tekesin Käyttövarmuus kilpailutekijänä (KäKi) -teknologiaohjelman ja sitä seuranneen Prognos -hankkeen jälkeen. Myöskään EU-tasolla ei näytä olleen käyttövarmuuden suunnitteluun liittyvää erityistä tutkimusohjelmaa.

KäKi -ohjelmaan (1995-2000) liittyi monia käyttövarmuuden suunnitteluprojekteja. Käyttövarmuuden suunnittelua tehtiin ainakin projekteissa ”Liikkuvien työkoneiden käyttövarmuuden suunnittelu” (VTT) sekä ”Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa” (TKK). Ohjelman päättymisen jälkeen toimintaympäristössä on tapahtunut merkittäviä muutoksia, jotka ovat tuoneet mukanaan toisaalta uusia haasteita ja toisaalta huomattavia mahdollisuuksia. Näitä tapahtuneita muutoksia ovat esimerkiksi komponenttien älykkyyden kehittyminen, palveluliiketoiminnan lisääntyminen ja toiminnan aiempaa verkottuneemmat käytännöt. Prognos -hankkeessa (2003-2006) keskityttiin kehittämään ratkaisuja teollisuuden käynnissäpidon hallinnan parantamiseksi.

Turvakaari-hankkeen raportissa ”Työkoneiden ja työkonejärjestelmien yleinen turvallisuus- ja käyttövarmuustiedon hallintamalli” (Suutarinen et al. 2005) esitetään malli RAMS -tietojen hallintaan. Samoin toimintamalleja erityisesti käyttövarmuuden hallitsemiseksi on esitelty standardeissa (esimerkiksi SFS-EN 60300 -standardiperhe ja EN 50126) ja käsikirjoissa, muun muassa Patrick O’Connorin kirjassa Practical Reliability Engineering. Näitä malleja käsitellään tarkemmin luvussa 2.3.

Tämä diplomityö on osa FIMA:n (Forum for Intelligent Machines) RelSteps -hanketta. Hankkeen vastuullisena tutkimuslaitoksena toimii Teknologian tutkimuskeskus VTT, jonka alaisuudessa tämä diplomityö on tehty. RelSteps -hankkeen tavoitteena on kehittää liikkuvien työkoneiden toimialalle työkalupakkia käyttövarmuuden hallintaan. Rel-

Steps -hankkeen valmistelua varten tehdyssä esiselvityksessä selvitettiin haastatteluin kahdeksalta FIMAn jäsenyritykseltä käyttövarmuuteen liittyvää tutkimustarvetta. Selvityksessä kysyttiin muun muassa käyttövarmuuden nykytilaa, tulevaisuudennäkymiä sekä tutkimustarvetta käyttövarmuuden saralta. Esiselvityksessä nousivat selvästi esille yritysten erilaiset valmiudet käyttövarmuusnäkökohtien hallintaan, sekä käyttövarmuustiedon keräämiseen, analysointiin ja jatkokäyttöön. Osa yrityksistä on integroinut käyttövarmuuden osaksi suunnitteluprosessia hyvin kiinteästi, osalla yrityksistä niin tietojen kattavan keräämisen kuin järjestelmällisen käytön osalta ilmeni selkeitä puutteita. Tahdotta asioiden kehittämiseksi kuitenkin yrityksissä on ja siitä hyvänä esimerkkinä toimii RelSteps -hankkeen käynnistyminen. Esiselvityksestä ja sen tuloksista on kerrottu tarkemmin luvussa 4.1.

### 1.3 Tutkimuksen tavoite

RelSteps -hanketta varten tehdyn esiselvityksen perusteella työkonealalla toimivien yritysten visio ja tavoitteet käyttövarmuuden hallinnan tilasta seuraavien viiden – seitsemän vuoden aikajänteellä sisältää selkeiden toimintamallien ja prosessikuvausten tekemisen ja implementoinnin osaksi yritysten käytäntöjä. Ratkaisuna yritysten kokemiin koko alaa koskeviin käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallinnan haasteisiin esitetään tässä diplomityössä järjestelmällisen mallin luomista RAMS- näkökohtien valjastamiseksi osaksi tuotekehitysprojektin alkuvaiheita.

Tämän diplomityön tavoitteena on luoda ja esittää malli, jonka avulla RAMS -hallinta pystytään liittämään osaksi liikkuvia työkoneita suunnittelevien ja valmistavien yritysten toimintaprosesseja siten, että se tukisi erityisesti suunnitteluprosessin alkuvaiheita. Mallin tavoitteena on muodostaa esimerkkikuvaus siitä, kuinka RAMS -hallintaa on mahdollista toteuttaa tehokkaasti ja systemaattisesti jo suunnittelun alusta alkaen. Tällä hetkellä käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallintaa ei yrityksissä toteuteta kovinkaan järjestelmällisesti. Luotava malli sisältää esimerkiksi tuotekehityksen alkuvaiheiden toimintaprosessin kuvauksen, työkalukuvauksia, arviointikriteeristön määrittelyä, mallin turvallisuus- ja luotettavuussuunnitelman laatimiseen ja tuotekehitysprosessin alkupäähän liittyvien RAMS -tehtävien erittelyä.

Toimintamallin luomisen perimmäisenä syynä on tavoite yritysten kilpailukyvyn lisäämisestä tuotekehitysprojektien läpimenoaikaa lyhentämällä, tuotekehitysprojektien kustannuksia pienentämällä, sekä erityisesti palveluliiketoiminnan kannalta merkittävien kustannusten ja hyötyjen ennustettavuutta parantamalla. Kustannusten minimoinnissa erityisen tärkeätä on tehdä vaadittavat muutokset mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jolloin niiden tekeminen on huomattavasti myöhäisempiä vaiheita edullisempaa.

Teollisten järjestelmien ja koneiden valmistajat kohtaavat yhä useammin tilanteita, joissa asiakkaat vaativat heiltä dokumentoitua RAMS -tietoa (Markeset & Kumar 2003).

Järjestelmällisen ja hyvin dokumentoidun RAMS -prosessin hyödyt ovat moninaiset. Prosessista tehtyjen dokumenttien avulla on helppo todentaa asiakkaan suuntaan, mitä on käytännössä tehty asetettujen RAMS -vaatimusten täyttämiseksi. Dokumentointia voidaan käyttää myös myyntityössä perusteena mahdollisesti korkeammalle hankintahinnalle. Tällaisessa tilanteessa on mahdollista esittää koko elinkaaren aikana saavutettavat kustannussäästöt ja hyödyt.

## 1.4 Tutkimuksen rajaukset

Tässä diplomityössä keskitytään suunnittelun alkuvaiheiden ongelmiin ja niiden ratkaisemiseen siten, että käyttövarmuus ja turvallisuus tulisivat huomioon otettua mahdollisimman tehokkaasti ja systemaattisesti. On kuitenkin muistettava, että suunnitteluprosessin alkuvaiheissa tehtävät päätökset ohjailevat paitsi myöhempiä suunnittelun vaiheita, myös kaikkia sitä seuraavia elinkaaren vaiheita.

Diplomityössä käsitellään sekä turvallisuuden että käyttövarmuuden hallintaa. Painopiste on kuitenkin käyttövarmuudessa. Tämä johtuu hankkeessa mukana olevien yritysten halusta saada tukea nimenomaan käyttövarmuuden hallintaan tuotekehityksen alkupäässä. Toisaalta yritysten halu keskittyä käyttövarmuuteen turvallisuuden sijaan johtuu siitä, että yrityksillä on jo olemassa prosessit ja toimintatavat turvallisuuden hallitsemiseksi. Nämä toimintatavat ovat kehittyneet jo pakostakin, jotta koneet on voitu suunnitella ja valmistaa viranomaismääräysten, kuten koneasetuksen ja sitä edeltäneen konepäättökseen vaatimukset täyttäviksi. Koneasetuksessa eli valtioneuvoston asetuksessa koneiden turvallisuudesta ”säädetään koneiden turvallisuuteen ja rakentamiseen liittyvistä olennaisista terveys- ja turvallisuusvaatimuksista sekä niiden vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta, markkinoille saattamisesta ja käyttöön otosta” (VNa 400/2008).

Työssä konstruoitavan mallin lähtökohtana on fyysisten tuotteiden, ei niinkään palveluiden, kehittäminen. Luotava toimintamalli on suunniteltu erityisesti liikkuvien työkojen parissa työskentelevien yritysten käyttöön, ottamalla huomioon alan erityispiirteet. Vaikkakin työssä keskitytään fyysisten tuotteiden suunnittelun alkupään ongelmiin, on huomattava, että suunnittelua ohjaavat varsin merkittävästi lisääntyvän palveluliiketoiminnan asettamat vaatimukset sekä suunnittelu- ja elinkaariparametrit.

## 1.5 Tutkimusote ja työn vaiheet

Diplomityön luonteen ja tavoitteen huomioon ottaen päädyttiin työssä soveltamaan konstruktiivista tutkimusotetta. Konstruktiivisen tutkimus voidaan luokitella erääksi soveltavan tutkimuksen muodoksi, jonka tavoitteena on nimensä mukaisesti tuottaa konstruktioita. Soveltavalle tutkimukselle on tyypillistä sovellutukseen tai tavoitteeseen pyrkivän uuden tiedon tuottaminen. (Kasanen et al. 1991, s. 302)

Konstruktiivisen tutkimuksen lähtökohtana on käytännön ongelma, jonka ratkaisemiseen tutkimuksen lopputulosta voidaan soveltaa. Kaikki ongelmanratkaisutehtävät eivät kuitenkaan täytä tieteellisen tutkimuksen kriteerejä. Konstruktiiviselta tutkimukselta vaadittavia seikkoja ovat ongelman sitominen aiempaan tietämykseen sekä ratkaisun uutuuden ja toimivuuden testaaminen. Nämä vaatimukset näkyvät myös kuvassa 1, jossa on esitetty konstruktiiviseen tutkimukseen kuuluvia osia. (Kasanen et al. 1991, ss. 305-306)



**Kuva 1.** Konstruktiivisen tutkimuksen osat. (Kasanen et al. 1991, s. 306)

Konstruktiivisen tutkimuksen sijoittuminen liiketaloustieteen tutkimusotteiden joukkoon on esitetty kuvassa 2. Konstruktiivisessa tutkimuksessa on kyse ongelmanratkaisuun pyrkivästä ”normatiivisesta tutkimuksesta, jossa yhdistyvät ongelman päämäärähakuinen, innovatiivinen työstäminen, ratkaisun empiirinen, käytännön tasolla osoitettu toimivuuden testaaminen sekä ratkaisun soveltamisalueen laajuuden tarkastelu.” Konstruktiivinen tutkimus käsittää sekä teoreettisen että empiirisen osan. (Kasanen et al. 1991, ss. 318,323)

|                 | Teoreettinen                           | Empiirinen                       |
|-----------------|--|----------------------------------|
| Deskriptiivinen | Käsite-analyttinen tutkimusote         | Nomoteettinen tutkimusote        |
| Normatiivinen   | Päätöksentekometodologinen tutkimusote | Toiminta-analyttinen tutkimusote |
|                 |  | Konstruktiivinen tutkimusote     |

**Kuva 2.** Konstruktiivisen tutkimuksen suhde liiketaloustieteen muihin tutkimusotteisiin. (Kasanen et al. 1991, s. 317)

Edellä esitetyn jaon mukaisesti tämä diplomityö on luonteeltaan pitkälti konstruktii-  
nen tutkimus, jossa on tarkoituksena tuottaa ratkaisumalli käytännön ongelmaan. Tämä  
diplomityö on tehty seurailemalla konstruktii-  
visten tutkimuksen vaiheita. Nämä kon-  
struktii-  
visten tutkimuksen ominaiset työvaiheet ovat Kasasen et al. (1991, s. 306) mu-  
kaisesti seuraavat:

1. Relevantin ja tutkimuksellisesti mielenkiintoisen ongelman etsiminen
2. Esiymmärryksen hankinta tutkimuskohteesta
3. Innovaatiovaihe, ratkaisumallin konstruointi
4. Ratkaisun toimivuuden testaus eli konstruktion oikeellisuuden osoittaminen
5. Ratkaisussa käytettyjen teoriakytkentöjen näyttäminen ja ratkaisun tieteellisen uu-  
tuusarvon osoittaminen
6. Ratkaisun soveltamisalueen laajuuden tarkastelu.

Kuten yllä esitellyistä vaiheista voidaan nähdä, on konstruktii-  
visten tutkimuksen osana  
todistettava myös ratkaisun toimivuus käytännössä. Tämä vaihe toteutettiin työssä haas-  
tattelemalla tutkimukseen osallistuvia yrityksiä heidän näkemyksistään luodun mallin  
soveltamisesta käytännön työhön, lisäksi alaan perehtyneiltä tutkijoilta kysyttiin mieli-  
piteitä ratkaisusta. Ratkaisun toimivuus jäi kuitenkin työn aikataulusta ja käytettävissä  
olevien resurssien rajallisuudesta johtuen testattavaksi vasta työn päättymisen jälkeen.  
Käytännön toimivuuden todentamisen vajavaisuus diplomityön aikana voisi sinällään  
viitata myös analyyttiseen mallinrakennukseen, joka eroaa Kasasen et al. (1991, s. 303)  
mukaan konstruktii-  
visten tutkimuksesta nimenomaan siten, että siinä mallin käytännön  
toimivuus jää usein epäselväksi.

Työn vaiheita on esitelty tarkemmin luvussa 3 ”Aineisto ja työvaiheet”. Konstruktii-  
visten tutkimusotteen valinta ja sen työvaiheiden seuraaminen näkyvät selkeästi jo diplo-  
mityön sisällysluettelosta.

Relevantti käytännön ongelma nousi esille RelSteps -hankkeen esiselvityksessä. Yrityk-  
set ilmaisivat työkonealan erikoispiirteet huomioon ottavan käyttövarmuuden hallinta-  
mallin puutteen. Esiymmärrys tutkimuskohteesta hankittiin tutustumalla aiheita käsitte-  
levään kirjallisuuteen diplomityön teoriaosuudessa. Ratkaisumallin konstruoinnissa käy-  
tettiin hyväksi paitsi hankittua teoreettista tietämystä myös yrityksiltä erilaisissa haastat-  
teluissa saatua empiiristä tietoa. Ratkaisun toimivuuden testaaminen jäi edellä esitetyn  
mukaisesti vajavaiseksi. Ratkaisun teoriakytkentöjä on osoitettu pitkin työtä sen eri vai-  
heissa. Ratkaisu voidaankin nähdä teorioiden ja empiiristen tietojen yhdistelmänä. Rat-  
kaisun tieteellistä uutuusarvoa on käsitelty ”tulosten tarkastelu” -kappaleessa samoin  
kuin ratkaisun soveltamisalueen laajuutta.

## 2 TAUSTA JA TEORIA

Käyttövarmuutta ja turvallisuutta koskevat tärkeimmät päätökset tehdään suunnittelun alkuvaiheissa. Tällöin on mahdollista kohtuullisen pienin panostuksin saavuttaa merkittäviä etuja mainituilla osa-alueilla. On arvioitu, että jos suunnitteluvirheen korjaaminen maksaa ennen ensimmäisen luonnoksen julkaisemista yhden dollarin, se maksaa luonnoksen julkaisemisen jälkeen 10 dollaria, prototyyppivaiheessa 100 dollaria, esituotantovaiheessa 1000 dollaria ja tuotantovaiheessa 10 000 dollaria (Dhillon 1999). Käyttövarmuuden ja turvallisuuden suunnittelun yhdistäminen samaksi prosessiksi tukee molempien osa-alueiden kehittämistä.

Liiketoiminnan siirtyessä palveluiden suuntaan, on koko elinkaaren aikaisten käyttövarmuus- ja turvallisuuskustannusten ennakoiminen tulossa yhä tärkeämmäksi kilpailutekijäksi. Jotta tässä työssä pystyttäisiin luomaan yrityksille käyttökelpoinen RAMS -hallinnan malli, on selvitettävä teoriaa sekä RAMS -hallinnan osalta että tuotekehityksen näkökulmasta. Lisäksi teoriaosuudessa käydään lyhyesti läpi lopullisen mallin toteuttamiseksi tarvittavien riskianalyysien perusteet sekä muita luotavan mallin kannalta huomioon otettavia seikkoja, kuten liiketoiminnan kehityssuuntaukset ja testauksen V-malli.

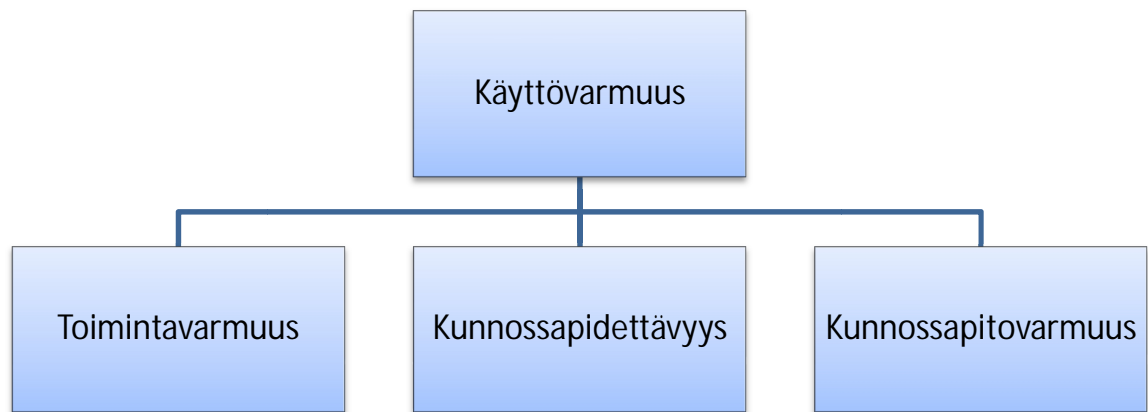
### 2.1 RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety)

Useimmiten käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallinta on eriytetty tuotesuunnittelu-prosessissa. Tämä on todennäköisesti seurausta siitä, että turvallisuus on aiemmin nähty ja osin nähdään edelleen lain sanelemana pakkona ja käyttövarmuusasiat koetaan kilpailutekijänä sekä elinkaarikustannuksiin vaikuttavina tekijöinä. Yhä enenevässä määrin turvallisuustekijät kuitenkin liitetään kilpailutekijöiden joukkoon. Esimerkiksi työkonesektorilla ei ole olemassa järkevää syytä sille, etteikö turvallisuutta ja käyttövarmuutta voitaisi yhdistää toisiinsa siten, että niitä käsiteltäisiin toisistaan riippuvina ja osin päällekkäisinä toimintoina. Tietyillä turvallisuuskriittisillä toimialoilla, kuten ydinvoimateollisuudessa, turvallisuuden ja käyttövarmuuden erottaminen toisistaan on kuitenkin edelleen perusteltua.

Käyttövarmuuteen liittyvä termistö käsitetään tässä työssä SFS-IEC 50(191) ja SFS-EN 60300-1 standardien mukaisesti. Tällöin käyttövarmuus määritellään ”kohteen kyvyksi olla tilassa, jossa se kykenee suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa ja tietyllä ajan hetkellä tai tietyn ajanjakson aikana olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla.” Käyttövarmuus (Availability) koostuu kuvan 3 mukaisesti kol-

mesta tekijästä; toimintavarmuus (Reliability), kunnossapidettävyyys (Maintainability) sekä kunnossapitovarmuus (Maintenance support performance). (SFS-EN 60300-1 2004; SFS-IEC 50(191) 1996)

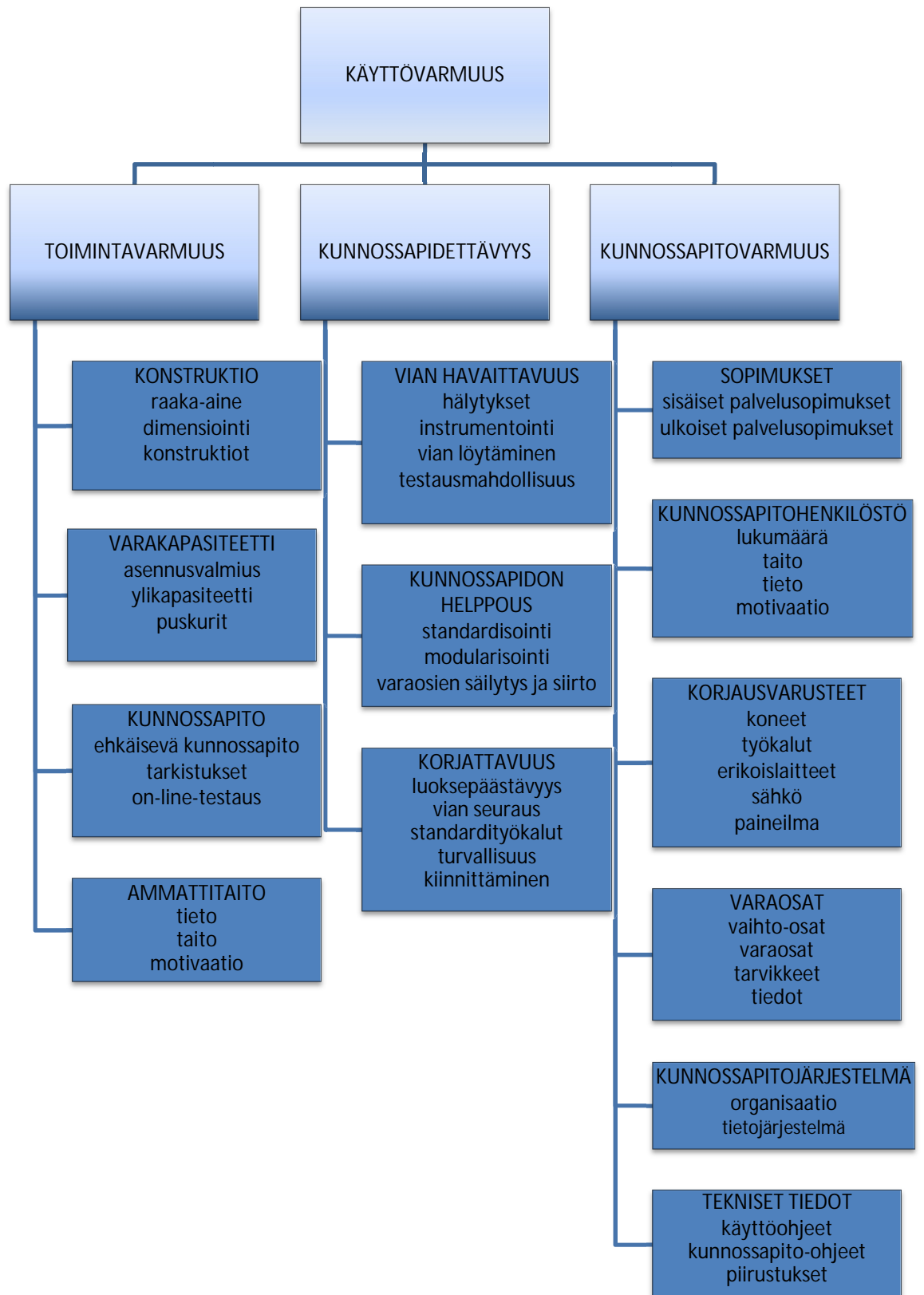
Toimintavarmuus on standardin mukaisesti ”kohteen kyky suorittaa vaadittu toiminto määrättyissä olosuhteissa vaaditun ajanjakson.” Kunnossapidettävyyys vastaavasti on määritelty kohteen kyvyksi ”olla pidettävissä tilassa tai palautettavissa tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon määritellyissä olosuhteissa käyttäen vaadittuja menetelmiä ja resursseja.” Kunnossapitovarmuus kuvaa kunnossapito-organisaation kykyä ”suorittaa vaadittu tehtävä tehokkaasti määrättyissä olosuhteissa vaaditulla ajanhetkellä tai ajanjaksona.” Arkikielessä usein monessa eri merkityksessä esiintyvä sana luotettavuus määritellään yleistermiksi, ”jota käytetään kuvaamaan käyttövarmuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä kuten toimintavarmuus, kunnossapidettävyyys ja kunnossapitovarmuus.” (SFS-EN 60300-1 2004; SFS-IEC 50(191) 1996)



**Kuva 3.** Käyttövarmuuden tekijät. (SFS-EN 60300-1 2004)

Kunnossapidettävien järjestelmien suunnittelussa keskitytään yleensä käyttövarmuuteen ja kaikkiin sen osatekijöihin. Tämä eroaa merkittävästi kertakäyttöisten tai vaihdettavaksi tarkoitettujen järjestelmien tai järjestelmän osien suunnittelusta, joissa keskitytään vain toimintavarmuuden kehittämiseen. (Stapelberg 2009, s. 14) Liikkuvien työkoneiden kohdalla on näin ollen syytä keskittyä kehittämään käyttövarmuutta kokonaisuudessaan kaikkien sen osa-alueiden osalta. Esimerkkejä ”kertakäyttöjärjestelmistä” ovat sellaiset avaruuteen lähetettävät järjestelmät, joita ei ole tarkoitus saattaa takaisin maapallolle. Nykyään myös suuri osa kodin elektroniikasta voidaan katsoa kuuluvaksi tähän joukkoon, joka suunnitellaan vain toimintavarmuuden lähtökohdista.

Kuvassa 4 käyttövarmuuden osatekijöitä on edelleen pilkottu pienempiin tekijöihin. Näitä tekijöitä tutkimalla voidaan saavuttaa kattava kuva siitä, mitkä seikat voisivat olla sellaisia, jotka suunniteltavan tuotteen osalta ovat vaikuttamassa lopullisen tuotteen käyttövarmuuden tasoon.



**Kuva 4.** Käyttövarmuuden osa-alueet (koottuna lähteestä Palukka 2008, ss. 11-16)

Kuten yllä olevasta kuvasta voidaan nähdä, rakentuvat toimintavarmuus ja kunnossapidettävyyden pitkälle sellaisista teknisistä ratkaisuista, joihin voidaan vaikuttaa jo tuotetta



suunniteltaessa. Nämä tekijät ovat myös sellaisia, joiden korjaaminen elinkaaren myöhemmissä vaiheissa on erittäin kallista, ellei peräti mahdotonta. Nykyisin käyttövarmuus onkin eräs tärkeistä kilpailutekijöistä. Tämä johtuu sekä tuotteiden välisten että tuotantoprosessien välisten erojen merkittävästä pienentymisestä. Nykyisessä kilpailutilanteessa on siis kehitettävä uusia kilpailuetuja, joista yksi on juuri käyttövarmuuteen ja turvallisuuden panostaminen sekä niiden hallitseminen systemaattisesti koko tuotteen elinkaaren ajan.

Suunniteltaessa käyttövarmaa tuotetta, on varmistettava, että vaadittu suoritustaso saavutetaan kustannustehokkaasti. Korvaamalla epäluotettavia komponentteja luotettavammilla, voidaan toki saavuttaa aiempaa huomattavasti toimintavarmempi laite, mutta kustannukset saattavat nousta liian korkeiksi (Komal et al. 2010). Käyttövarmuutta suunniteltaessa joudutaan usein tilanteeseen, jossa esimerkiksi komponenttivalinnassa on tehtävä kompromisseja toimintavarmuuden- ja kunnossapidettävyyden välillä. On kuitenkin muistettava, että korkean toimintavarmuuden saavuttaminen erityisesti kompleksisissa tai uutta koettelematonta teknologiaa sisältävissä tuotteissa on kallista (O'Connor 2002, s. 417).

Koneen turvallisuuden ja käyttövarmuuden kehittyminen ei ole sattumaa, vaan systemaattisen toimintamallin kehitystulos. Turvallisuutta ja käyttövarmuutta koskevat tärkeimmät päätökset tehdään aina jo suunnittelun alkuvaiheessa. Molempia tekijöitä tulee pohtia koko tuotteen elinkaaren ajalle. (Suutarinen et al. 2005)

Ratkaisuvaihtoehtojen analysoiminen tuotekehityksen alkupäässä auttaa tunnistamaan käyttövarmuuteen ja turvallisuuteen liittyviä ongelmakohtia. Analysoinnin avulla voidaan luoda uusia ratkaisuja, joiden avulla havaittuihin ongelmakohtiin pystytään puuttamaan. Näitä analyysejä tekevällä ryhmällä pitäisi olla käytössään tarvittavat tiedot käytön ja kunnossapidon osalta koskien mahdollisia markkinoilla olevia vastaavia tuotteita. Analyysien sijoittamisella jo tuotekehityksen alkupäähän voidaan saavuttaa merkittäviä innovaatioita, joiden avulla pystytään entistä paremmin vastaamaan asiakkaan vaatimuksiin. (Virtanen & Hagmark 1997) RAMS -tekijät pitää ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa, jotta myös tuotteen toimimattomuuteen liittyviä taloudellisia riskejä kyetään hallitsemaan (Markeset & Kumar 2003).

RAMS -prosessi on keino hallita turvallisuuteen ja käyttövarmuuteen liittyviä vaatimuksia tarkoituksenmukaisesti heti tuotekehityksen alusta lähtien. Tuotteen turvallisuuden ja käyttövarmuuden osalta tärkeimmät ratkaisut tehdäänkin jo tuotteen elinkaaren alkuvaiheissa. RAMS -prosessin tarkoituksena on tarkastella tuotteeseen liittyviä turvallisuus- ja käyttövarmuusnäkökohtia rinnakkain. Tarkastelua tehdään koko tuotteen elinkaarta ajatellen ja elinkaaren edellisen vaiheen tulokset toimivat aina lähtötietoina seuraavalle. (Kivipuro et al. 2008)

Eräänä ongelmana käyttövarmuuden hallinnan osalta voidaan nähdä se, että usein käyttövarmuusnäkökohtia aletaan pohtia vasta valmiin tuotteen osalta. Haasteen onkin saada käyttövarmuuden hallinta osaksi tuotekehitystä siten, että siitä tulisi koneeseen alusta alkaen sisäänrakennettu ominaisuus. (Virtanen & Hagmark 1997) Myös Lyytikäisen (2010) artikkelissa todetaan, ettei RAM -mallintaminen jo toiminnassa olevalle laitteelle ole aina järkevää, sillä vaadittavien muutosten tekeminen laitteen elinkaaren siinä vaiheessa voi osoittautua liian kalliiksi. Sen sijaan suunnittelun alussa muutokset on mahdollista suorittaa huomattavasti halvemmin paperilla. (Lyytikäinen 2010) Käyttövarmuuden hallinta aloitetaan usein vasta tuotteen ollessa jo tuotannossa tai markkinoilla. Useissa projekteissa vasta tässä vaiheessa toimintavarmuuden ja huollettavuuden asiantuntijat otetaan mukaan suunnitteluprojektiin. Tämä toimintatapa kuitenkin tulee yrityksille kalliiksi ja venyttää prosesseja liian pitkiksi. (Virtanen & Hagmark 1997)

RAM -malli luo kvantitatiivisen perustan päätettäessä suunnittelun hyväksyttävyydestä, lisäksi se helpottaa tulevaisuuden käyttövarmuuteen liittyvien päätösten tekemistä ja priorisointia (Komal et al. 2010). Ennakoimattomiin kustannuksiin johtavat odottamatomat viat nähdään usein yleisimpänä syynä asiakkaiden tyytymättömyyteen. Tavallisesti nämä viat ovat seurausta kyvyttömyydestä ennakoida tuotteen myöhempään käyttöön liittyviä ongelmia. Kuitenkin huolellisesti toteutetulla RAMS -tekijöiden huomioimisella suunnittelussa, tuotannossa, kokoonpanossa, testauksessa ja asennuksessa voidaan näiden vikojen määrää vähentää tuntuvasti sekä pienentää niistä aiheutuvia seurauksia. (Markeset & Kumar 2003)

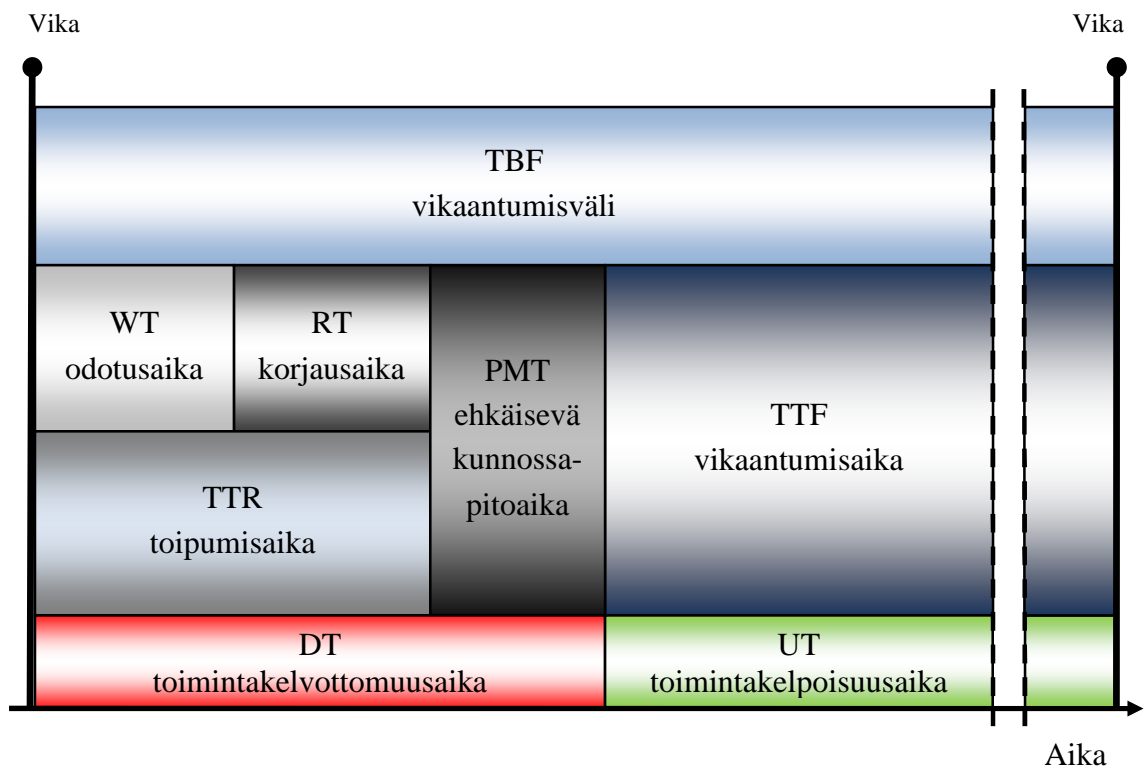
Markeset & Kumar (2003) toteavat artikkelissaan uskovansa, että RAMS -näkökohtien integroinnilla osaksi yrityksen toimintaa voidaan saavuttaa kilpailullista etua. Menestyksellinen toteuttaminen riippuu lähinnä yrityksen kyvystä saattaa organisaation jäsenet tietoisiksi RAMS -näkökohdista ja niiden ymmärtämisestä. (Markeset & Kumar 2003)

Käyttövarmuuden hallintaan on alun perin keskitytty lähinnä turvallisuuskriittisillä aloilla, kuten ilmailu, ydinvoimateollisuus ja avaruustekniikka. Viime aikoina siihen on kuitenkin alettu kiinnittää aiempaa enemmän huomiota myös muilla teollisuuden aloilla. Edelleen tuotteen ominaisuudet valitaan kuitenkin usein ratkaisujen hinnan ja teknisen suorituskyvyn perusteella. (Virtanen & Hagmark 1997)

Virtasen ja Hagmarkin raportissa (1997) kritisoidaan teollisuusyritysten käyttövarmuustekniikoiden vähäistä hyödyntämistä jopa suurten prosessien suunnittelussa. Syyksi nähdään muun muassa asioista päättävien tahojen huono tietämys käyttövarmuudesta. Raportin mukaan käyttövarmuuteen liittyvien tilastotietojen käyttö on olematonta ja usein vedotaankin suunnittelussa tarvittavien käyttövarmuustietojen puutteeseen, vaikka samaa tuotetta olisi suunniteltu ja valmistettu vuosia ja näin ollen tietoja käytön ja kunnossapidon osalta saattaa olla olemassa usean vuoden ajalta. Myös täysin väärä oletuksia saatetaan tehdä tietämättömyyttä. Esimerkkejä tällaisista ovat oletukset siitä, että

prosessi olisi yhtä luotettava kuin sen yksittäinen komponentti tai oletus, jonka mukaan komponentti toimisi vuodesta toiseen samalla tavalla. (Virtanen & Hagmark 1997)

Kuvassa 5 on esitetty käyttövarmuuteen liittyviä aikakäsitteitä. Kuva on yksinkertaistettu ja muokattu versio PSK standardissa 6201 esitetystä kunnossapidon aikakäsitteet -kuvasta. Kuvassa 5 on valittu esitettäväksi ne aikakäsitteet, joihin voidaan vaikuttaa suoraan käyttövarmuuden suunnittelulla tuotekehityksessä. Kuvan katsontakanta on järjestelmälähtöinen. Tällä tarkoitetaan tässä sitä, että siitä on poistettu sellaiset ulkoiset tekijät, joihin ei juuri voida tuotekehitysvaiheessa vaikuttaa. Tällaisia ulkoisia kokonaiskäytettävyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi lakot, ongelmat raaka-ainetoimituksissa, taloudellisen tilanteen, tai muun ulkoisen tekijän takia tehdyt tuotannon seisautukset ja niin edelleen. Nämä ovat siis sellaisia tekijöitä, jotka eivät varsinaisesti ole käyttövarmuuslähtöisiä. Kuvassa esitettyjen laatikoiden koot eivät esitä eri vaiheiden kestoa, vaan laatikoiden koot on valittu piirrosteknisistä lähtökohdista.



**Kuva 5.** Käyttövarmuuteen liittyviä aikakäsitteitä. (Mukailtu standardista PSK 6201 2003)

Käyttövarmuuden tärkein mittari on käytettävyys. Käytettävyydelle on olemassa erilaisia määritelmiä. Yksinkertaisimmillaan käytettävyys voidaan määritellä toimintakelpoisuajan sekä toimintakelpoisuajan ja toimintakelvottomuusaajan summana lasketun kokonaisajan suhteena, kuten standardissa SFS-IEC 50(191). Tämä klassinen käytettävyys on esitetty kaavassa 1.

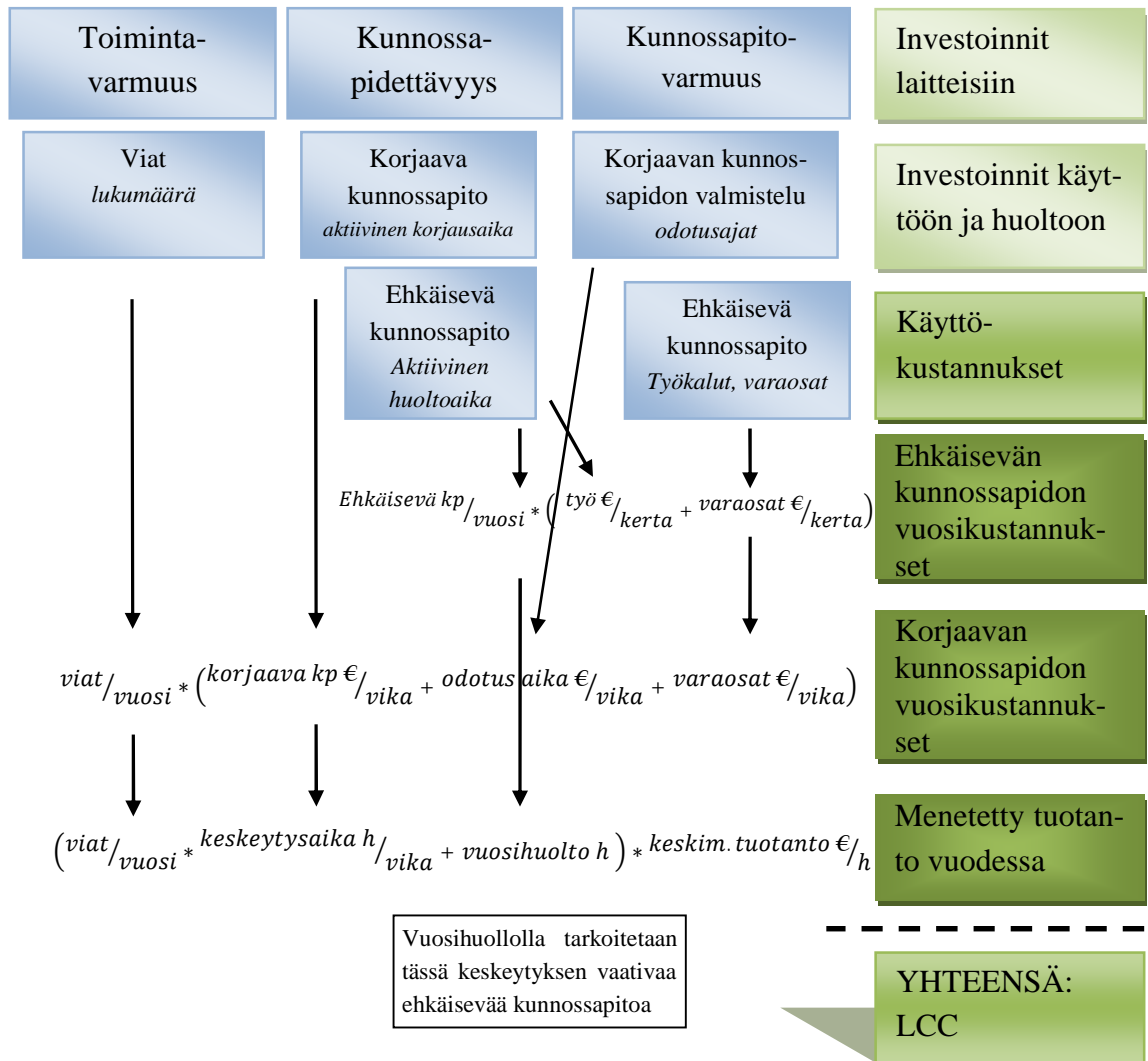
$$A = \frac{T_{up}}{T_{up} + T_{down}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}, \quad (1)$$

missä  $A$  on käytettävyys,  $T_{up}$  on aika, jolloin laite on toimintakunnossa ja  $T_{down}$  on aika, jolloin laite ei ole toimintakuntoinen korjaavasta kunnossapidosta johtuen. Tämä käytettävyyden määritelmä (1) ottaa siis huomioon vain korjaavan kunnossapidon aiheuttamat seisokit. Mikäli halutaan huomioida myös kuvaan 5 merkitty keskeytyksen aiheuttava ehkäisevä kunnossapito, pitää kaavan jälkimmäiseen osamäärään jakajaksi summata myös MPMT. On huomattava, että suinkaan kaikki kunnossapitotoimet eivät vaadi laitteen toiminnan pysäyttämistä, ja näin huononna käytettävyyttä.

Yllä esitetyn kuvan 5 ja käytettävyyden määritelmän mukaisesti käytettävyyttä voidaan parantaa vaikuttamalla mihin tahansa aiemmin määritellyyn käyttövarmuuden osaluueeseen. Toimintavarmuutta parantamalla voidaan suoraan vaikuttaa vikaantumisaikaan. Kunnossapidettävyydellä ja kunnossapitovarmuudella voidaan vaikuttaa toipumisaikaan.

RAMS -tarkasteluun liittyvät läheisesti myös kustannusten arvioinnit ja niiden pohjalta suoritettut laskelmat. Kustannustarkasteluissa arvioidaan paitsi erilaisiin vikatilanteisiin liittyviä kunnossapitokustannuksia myös tuotannonmenetyksistä aiheutuvia tappioita. Yhdistämällä käyttövarmuustarkastelusta saatavat kustannustekijät koko tuotetta koskeviin elinjakso-kustannuksiin, voidaan eri toteutusvaihtoehtojen välillä suorittaa vertailua ja päättää, mikä ehdotetuista ratkaisuvaihtoehdoista olisi järkevin toteuttaa. (Kivipuro et al. 2008) Käytön aikaisen epäluotettavuuden kustannukset pitäisi arvioida aikaisessa suunnitteluvaiheessa, jotta luotettavuuden parantamiseksi tehtävä työ koetaan oikeuteksi ja toisaalta osataan määritellä oikeanlaiset vaatimukset suhteessa arvioituihin kustannuksiin (O'Connor 2002, s. 419).

Kuten kuvasta 6 voidaan havaita, antaa RAMS -hallinta mahdollisuuden käyttö- ja kunnossapitokustannusten ennakointiin. Tämä tietenkin edellyttää joko saatavilla olevaa luotettavaa dataa tai onnistuneita ennusteita saatavilla olevaan tietoon pohjautuen.



**Kuva 6.** Yksinkertaistettu elinjaksokustannusmalli ja kustannusten yhteys käyttövarmuuteen. (Muokattu lähteestä Lyytikäinen 2010)

On syytä muistaa, että RAMS -hallinnan avulla ei ole tarkoitus saavuttaa vain pienentyksiä elinkaarikustannuksien osalta. Yhtä tärkeitä on ottaa huomioon parannetun käyttövarmuuden ja turvallisuuden mukanaan tuomat elinkaaren aikaiset saavutetut tuotot sekä kustannussäästöt eri ratkaisujen osalta. (Kivipuro et al. 2008) Komonen (2002) huomauttaa, että elinkaarituoitoja laskettaessa on usein ongelmana esimerkiksi tuotteen taloudellisen eliniän ennakointi. Samankaltaisia ongelmia liittyy hänen mukaansa myös muihin investointilaskelmiin. Takaisinmaksuajan -menetelmä minimoi näitä ongelmia tehokkaasti, mutta toisaalta se ei välttämättä ota riittävästi kantaa investoinnin kannattavuuteen. (Komonen 2002, s. 12)

Lyytikäinen (2010) luettelee RAM -mallille ominaisina heikkouksina seuraavia asioita:

- Pelkkiin todennäköisyyspohjaisiin vikoihin keskittyminen
- Yhteisvikoihin puuttumisen vaikeus datan puutteen vuoksi

- Systemaattisten vikojen (esim. suunnitteluvirheiden) aiheuttamien käytettävyysohjelmien suuri esiintyvyys erityisesti uusissa teknologioissa
- Ohjelmistojen osuuden kasvu järjestelmissä. Järjestelmäviat eivät ole todennäköisyyspohjaisia. (Lyytikäinen 2010)

Lyytikäisen (2010) artikkelissa korostetaan luotettavuustekniikan ja riskianalyysien yhdistämisen tärkeyttä. Artikkelin mukaan RAM -analyysiä olisi aina syytä täydentää esimerkiksi Hazop -analyysillä, jolloin saadaan esille esimerkiksi prosessihäiriöistä johtuvia epäkäytettävyyteen vaikuttavia ongelmatekijöitä. (Lyytikäinen 2010)

Suunnittelun tueksi tarvittava RAMS -tietämys voidaan saavuttaa jo tuotekehityksen alkuvaiheessa suorittamalla erilaisia analyysejä. On huomattava, että suoritettavat analyysit tarkentuvat tuotekehityksen edetessä ja alussa analyysit ovat hyvin karkeita suunniteltavan tuotteen yksityiskohtien vähäisyydestä johtuen. (Kivipuro et al. 2008)

Vikadatan saatavuus on usein esteenä käyttövarmuusmallia luotaessa. Dataa on kuitenkin saatavissa lukuisista eri lähteistä. Tällaisia ovat esimerkiksi vastaavan järjestelmän vikahistorian analysoiminen, erilaiset datakirjat sekä haastattelut. (Lyytikäinen 2010) Mikäli käyttövarmuustietoja halutaan arvioida kvantitatiivisesti, tulee käytössä olla numeerista dataa kohteesta. Tällöin kysymykseen tuleva data on lähinnä käyttökokemuksiin ja kunnossapitoon liittyvää. Mikäli vikaantumistapahtuma on erittäin harvinainen, menettelytavat datan hankkimiseksi ovat turhan kalliita tai epäeettisiä tai kohde on täysin uudenlainen, saattaa syntyä tilanne, jossa tarvittavaa dataa ei yksinkertaisesti ole saatavilla edes huonossa muodossa. (Salmikuukka 1999, s. 11)

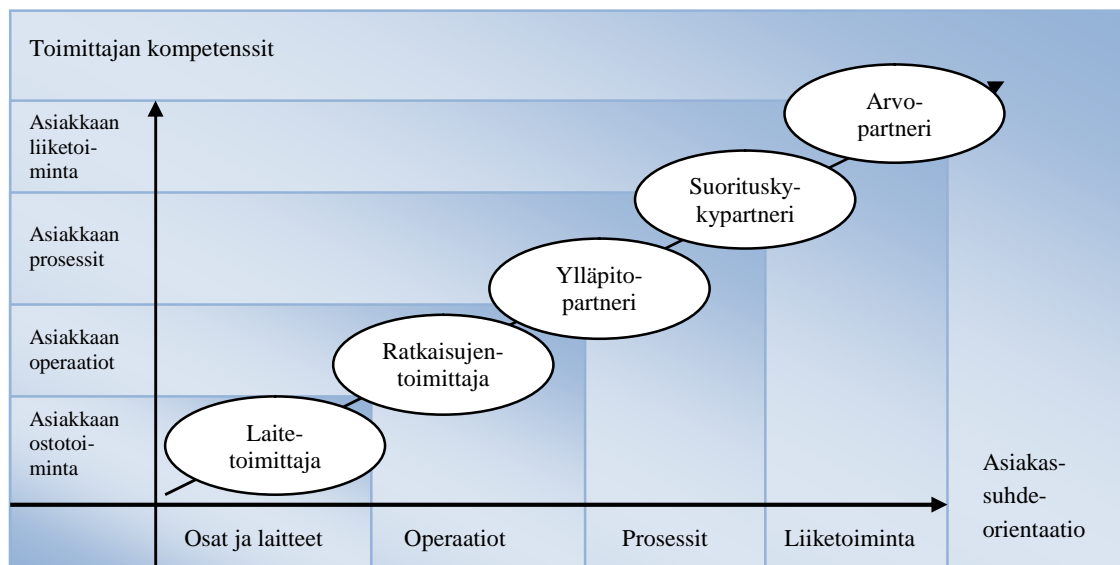
Liiketoiminnan suuntaamisella on merkittävä vaikutus valittaviin ratkaisuihin sekä yleisten teknisten ominaisuuksien että komponenttien osalta. On huomattavasti eroa sillä, onko tarkoitus tehdä tulosta myymällä uusia tuotteita vai tuotteiden varaosia. Lisäksi huomioon pitää ottaa myös mahdollisen huolto liiketoiminnan tai muun vastaavan palveluliiketoiminnan osuus. (Apilo & Taskinen 2006)

## 2.2 Yritysten liiketoiminnan kehityssuuntaus

Palvelusopimusten jatkuvasti lisääntyessä tulee käyttövarmuuden ja turvallisuuden osa-alueet ottaa huomioon aiempaan verrattuna erilaisin painotuksin. Kunnossapitoorganisaation tehokkuutta kuvaava kunnossapitovarmuus siirtyy näiden kokonaispalvelusopimusten ansiosta pois loppukäyttäjän vastuulta laitteen toimittajalle. Liikkuvien työkonien kohdalla useimmiten valmistavalle/suunnittelevalle organisaatiolle. Tämä helpottaa laitteen suunnittelussa käytettävien kriteereiden määrittämistä. Samalla yhä tärkeämmäksi nousee kuitenkin koko elinkaaren aikaisen käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallinta sekä käyttövarmuuteen ja turvallisuuteen liittyvien kustannusten ennakointi laitetta suunniteltaessa. Jo tuotteen määrittelyvaiheessa on syytä miettiä, suunnitellaanko tuotetta kuinka pitkälle ajatellen koko sen elinkaarta. ”After-sales” -toiminnan

lisääntyessä myös koko elinkaaren aikainen käyttövarmuus- ja turvallisuussuunnittelu lisääntyy. Erityisesti näin on käyttövarmuuden kohdalla. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että laitetoimittajille kertyy aiempaa paremmin tietoa myös heidän toimittamiensa laitteiden takuuajan jälkeisestä käyttövarmuudesta. Näin ollen palveluliiketoimintaan siirtymisen voidaan olettaa palvelevan kehittyvän käyttövarmuussuunnittelun kautta sekä laitetoimittajia että heidän asiakkaitaan. Lopputuloksen kannalta onkin toisarvoista, lähteekö käyttövarmuuden kehittäminen laitetoimittajien omista intresseistä vai halusta tehdä luotettavampia koneita asiakkaiden käyttöön.

Kuvassa 7 on esitetty liiketoiminnan muutosta kahdesta näkökulmasta tarkasteltuna. Ensimmäinen näkökulma kuvaa laitetoimittajan osaamista eli kompetensseja ja toinen orientoituneisuutta asiakassuhteisiin. Molemmat näkökulmat on jaettu neljään tasoon. Kompetenssien alimmalla tasolla tunnetaan asiakkaan ostotoiminta ja korkeimmalla tasolla kompetenssit liittyvät asiakkaan liiketoiminnan syvälliseen ymmärtämiseen. Näiden vaiheiden välillä kehitys kulkee asiakkaan operaatioiden ymmärtämisen kautta kokonaisten prosessien ymmärtämiseen. Orientoituneisuuden osalta vaiheet kulkevat samantapaisesti alkaen osien, laitteiden ja niihin liittyvien palvelujen toimittamisesta. Korkeimmalla orientoitumisasteella on asiakkaan koko liiketoiminta. (Kalliokoski et al. 2003)



**Kuva 7.** Toimittajan kompetenssit ja roolit. (Mukailtu lähteistä Kalliokoski et al. 2003; Ojasalo & Ojasalo 2008, s. 30)

Palveluliiketoimintaan siirtyminen auttaa pääsemään lähemmäksi asiakasta tukien samalla asiakkaan prosesseja aiempaa arvokkaammin (Grönroos 2009, s. 497). Erilaisilla myynnin jälkeisillä palveluilla pyritään antamaan tukea asiakkaalle aiempaa pidemmällä aikavälillä. Asiakkaat eivät kuitenkaan välttämättä ole valmiita maksamaan

näistä palveluista ja niinpä uusia visioita ja toimenpiteitä tarvitaan tulevaisuudessa. (Grönroos 2009, s. 498)

Pelkän fyysisen tuotteen tarjoaminen nykyisillä markkinoilla ei useinkaan enää riitä. Mikäli toimittaja yrittää pitää kiinni ainoastaan fyysisen tuotteen toimittamisesta, syntyy vallitsevilla markkinoilla tilanne, jossa hinta rakentuu ainoaksi kilpailutekijäksi. Tämä luonnollisesti tarkoittaa hintapaineiden kasvamista. Muiden toimittajien tarjotessa laajempaa kokonaisuutta, on pelkän teknisen ratkaisun suoma kilpailuetu monilla markkinoilla jo kokonaan hävinnyt. Myöskään pelkän yksittäisen teknisen prosessin, kuten huoltoprosessin tarjoaminen sinällään ei riitä, vaan olisi pyrittävä vaikuttamaan asiakkaan liiketoimintaprosessiin siten, että se tukisi arvon luomista. (Grönroos 2009, ss. 497-498)

Pelkkään hintakilpailuun perustuva kilpailutapa vaikeuttaa tuotekehitykseen sekä muuhun tutkimukseen panostamista, eikä useinkaan pitkällä aikavälillä ole taloudellisesti kannattavaa. Tämän takia tiukassa kilpailutilanteessa luonteva vaihtoehto on palveluyritykseksi siirtyminen. Perinteisen teollisuusyrityksen onkin nykyisillä markkinoilla harvoin mahdollista saavuttaa pysyvää menestystä hintastrategiaan ja tekniikan kehittämiseen perustuvalla tuotestrategialla. Niinpä yrityksen on lopulta omaksuttava palvelunäkökulma omaan toimintaansa. (Grönroos 2009, s. 501)

Strategisen muutoksen tapahtuminen arvoketjussa on havaittu sisältävän neljä eri vaihetta:

1. Tuotteeseen liittyvän palvelutarjoaman kehittäminen
  2. Sisääntulo teollisuuspalvelujen markkinoille
  3. Teollisuuspalvelutarjoaman laajentaminen
    - a. Laajentuminen asiakassuhteisiin pohjautuviin palveluihin
    - b. Laajentuminen prosessikeskeisiin palveluihin
  4. Asiakkaan operaatioiden kokonaisvaltainne haltuunotto.
- (Ojasalo & Ojasalo 2008, s. 30)

Ojasalo & Ojasalon (2008) kirjassa todetaan, että tuotesuunnittelussa tuote tulee ymmärtää kokonaisuudeksi, joka koostuu sekä fyysisestä tuotteesta että siihen liittyvistä palveluista. Niinpä tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin liittyvät palvelut tulee ottaa huomioon jo tuotetta suunniteltaessa. Tuotekehityksen aikana voidaan vaikuttaa muun muassa siihen, kuinka paljon tuote vaatii kunnossapitoa. Lisäksi esimerkiksi modulaarisuuteen ja diagnostiikkaan perustuvilla päätöksillä vaikutetaan tuotteen koko elinkaaren aikaisiin kunnossapitokustannuksiin. (Ojasalo & Ojasalo 2008, s. 47)

Tuotetuen tarvetta aiheuttavien vikatilanteiden perimmäiset syyt voidaan jakaa neljään luokkaan. Nämä ovat tuotteen suunnittelussa tapahtuneet virheet, fyysiset rasisutestekijät, työprosesseihin liittyvät virheet sekä virheelliset asenteet. Suunnitteluvirheiden lähteinä mainitaan tuotespesifikaatioissa esiintyvät virheet ja prosessit, joilla itse spesifikaatiot



toteutetaan tuotteessa. Spesifikaatioissa olevien virheiden perimmäinen syy on useimmiten kommunikaatio-ongelma asiakkaan ja toimittajan välillä määrittelyjä tehtäessä. (Ojasalo & Ojasalo 2008, s. 49)

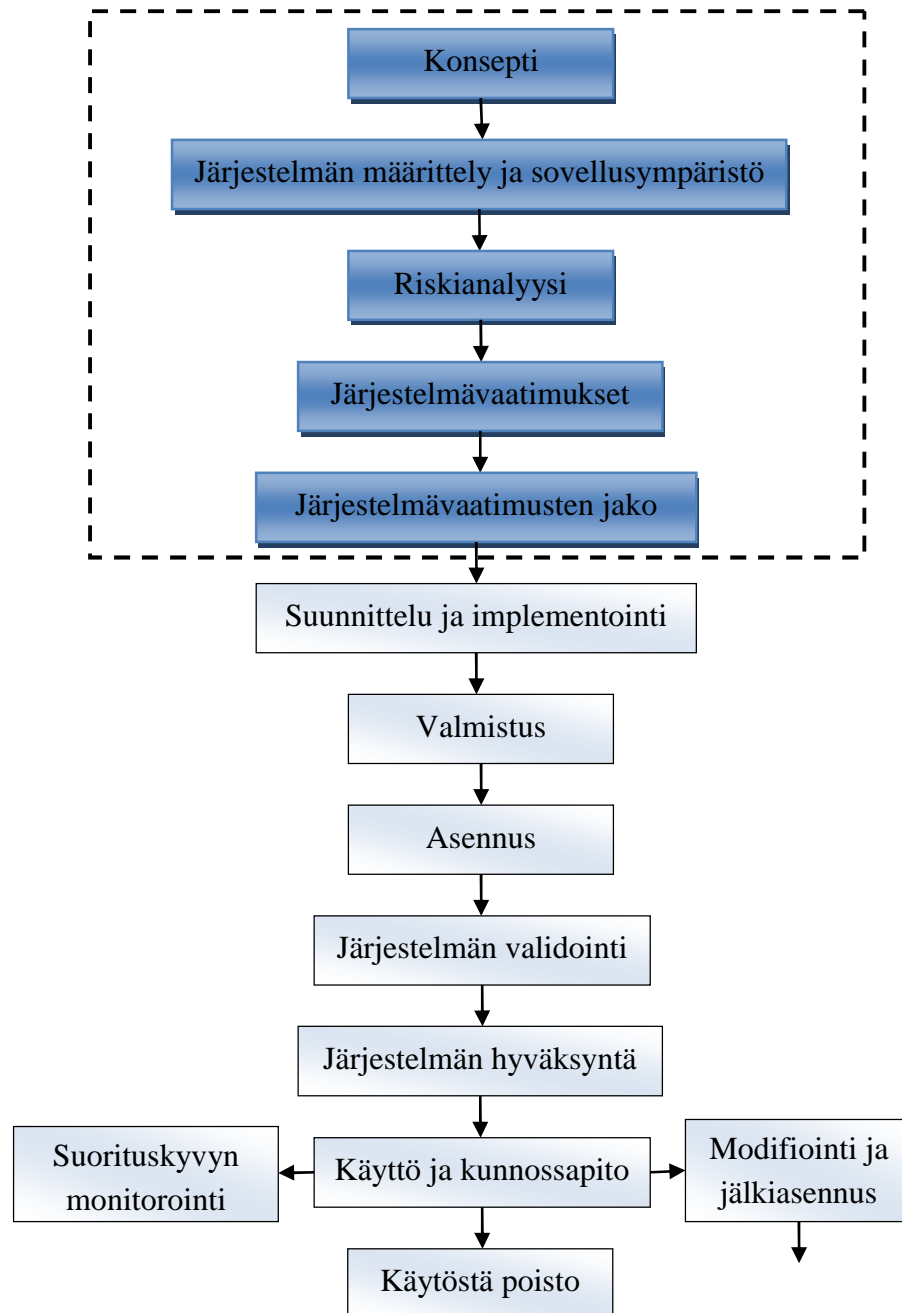
## **2.3 RAMS -hallintamalleja**

RAMS -hallintaan on eri lähteissä annettu malleja. Esitetyt mallit käsittelevät käyttövarmuutta ja turvallisuutta varsin yleisellä tasolla, toisin sanoen standardien ja kirjallisuuden yleistämä maailma on melko kaukana käytännöstä. Suurelta osin tästä syystä mallien siirtyminen ja siirtäminen konkreettisiksi toimiksi yritysten tuotekehitysprojekteissa on osoittautunut vaikeaksi. Seuraavissa alaluvuissa on esitetty joitakin olemassa olevia malleja RAMS -tekijöiden hallitsemiseksi. Esitetyistä malleista on poimittu niitä osa-alueita, jotka käsittelevät diplomityön aiheena olevaan tuotekehityksen alkupäätä.

### **2.3.1 EN 50126 (railway RAMS)**

EN 50126 -standardi ”Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)” esittelee rautatiespesifisen RAMS -prosessin. Standardin kuvaus kattaa rautatiesovellusten kaikki tunnistetut elinkaaren vaiheet. Standardissa todetaan turvallisuuden ja käyttövarmuuden olevan siinä määrin toisiinsa sidoksissa olevia, että toisen tekijän heikkous tai turvallisuus- ja käyttövarmuusvaatimusten välisten ristiriitaisuuksien huono hallinta voivat estää luotettavan järjestelmän saavuttamisen. (EN-50126 1999)

Standardissa EN-50126 (1999) esitetään järjestelmän elinkaari kuvan 8 mukaisesti. Joh-tuen tässä työssä valitusta lähestymistavasta ja tuotekehityksen alkupään määrittelemisestä, valitaan tarkasteltaviksi osavaiheiksi nimityksistä huolimatta ensimmäiset viisi vaihetta. Tällöin tarkasteltavat osa-alueet ja niihin standardissa kohdistetut RAMS -hallinnan toimenpiteet vastaavat valittua määrittelyä suunnittelun alkupään osalta.



**Kuva 8.** Järjestelmän elinkaaren vaiheet standardin EN 50126 mukaisesti.

Standardissa on esitetty jokaiseen elinkaaren vaiheeseen liittyvät päämäärät, vaatimukset, vaihetuotteet sekä verifiointi- ja validointitoimet (ss. 34-60). Tähän on kerätty edellä esitetyn rajauksen mukaisesti diplomityön aihepiiriin kuuluvien vaiheiden tavoitteet.

Konseptivaiheen tavoitteena on hankkia riittävästi ymmärrystä suunniteltavasta systeemistä, jotta sen pohjalta voidaan suorittaa myöhemmät elinkaaren RAMS -tehtävät tyydyttävästi. Järjestelmän määrittely ja sovellusympäristö -vaiheeseen liittyvät tavoitteet ovat:

- a. Määritellä systeemin tehtäväprofiili
- b. Määritellä systeemin raja
- c. Järjestelmän ominaisuuksiin vaikuttavien käyttöolosuhteiden määrittäminen
- d. Määritellä laajuus systeemin vaarojen tunnistamiselle
- e. Luoda systeemille RAMS -toimintamalli
- f. Luoda turvallisuussuunnitelma systeemille

Yllä mainitut tavoitteet pitää täyttää siinä määrin, kuin ne vaikuttavat järjestelmän potentiaaliseen RAMS -suorituskykyyn.

Riskianalyysivaiheen tavoitteena on tunnistaa systeemiin liittyvät vaarat, tunnistaa vaaroihin johtavat tapahtumaketjut, määrittää vaaroihin liittyvät riskit ja luoda prosessi jatkuvalle riskienhallinnalle. Järjestelmävaatimusvaiheen osalta pitäisi spesifioida systeemin RAMS -kokonaisvaatimukset, eritellä systeemin RAMS -kriteerit ja käytännöt niiden demonstroimiseksi, sekä luoda RAM -ohjelma, jonka avulla kontrolloidaan RAM -tehtäviä myöhemmissä elinkaaren vaiheissa.

Järjestelmävaatimusten jako -vaiheelle on standardin mukaan asetettu tavoitteeksi koko järjestelmää koskevien vaatimusten jakaminen määritellyille osajärjestelmille, komponenteille sekä ulkoisille fasiliteeteille. Toisena tavoitteena on määritellä edellä mainittuja osajärjestelmiä, komponentteja ja fasiliteetteja koskevat RAMS -hyväksymiskriteerit.

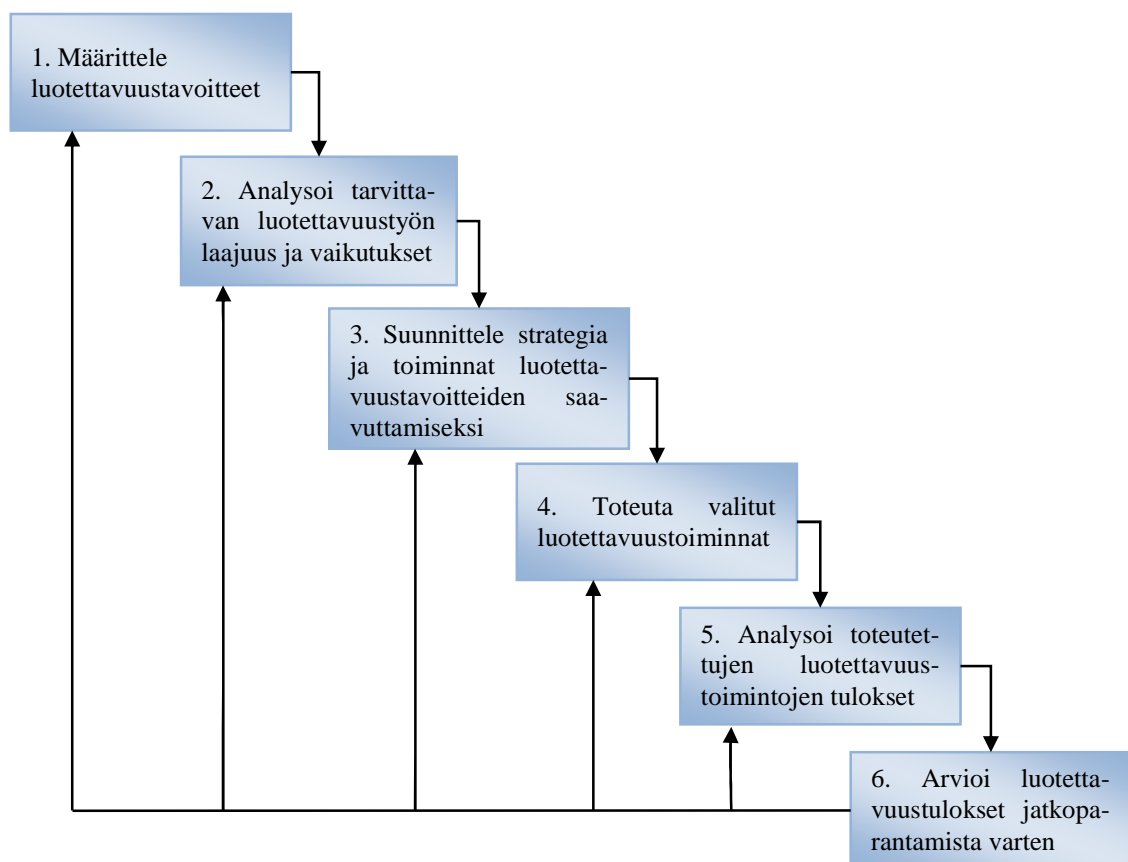
Standardin liite A esittelee RAMS -spesifikaation rungon. RAMS -spesifikaation perusrakenne on jaettu standardissa yhdeksään osaan. Nämä osat ovat: projektin identifiointi, järjestelmän yleinen kuvaus, toiminta- ja ympäristö olosuhteet, toimintavarmuus, kunnossapito ja korjaus (toisin sanoen ehkäisevä ja korjaava kunnossapito), turvallisuus, käyttövarmuus, RAMS -suorituskyvyn osoittaminen sekä RAMS -ohjelma.

Projektin identifiointiin kuuluu myös vaihetuotteet, määräajat sekä projektiorganisaation ja RAMS -hallinnan esittely. Järjestelmän yleinen kuvaus koostuu standardin esimerkissä systeemin teknisestä kuvauksesta, täsmällisestä käytön ja toimintojen esittelystä sekä osajärjestelmien teknisestä kuvauksesta. Toimintaympäristön ja olosuhteiden osalta pitäisi tunnistaa toimintatilat, odotettavissa olevaa käyttöä koskevat aikatekijät (esimerkiksi käyttöikä, käyttötunnit per vuosi) ja ympäristöolosuhteet. Toimintavarmuuden osalta määritetään tavoitteet suhteessa suorituskykyvaatimuksiin, määritellään vika-muodot ja keskimääräinen vikaantumisväli. Lisäksi vikojen vaikutuksia suorituskyvyllä on syytä pohtia. Kunnossapitoa koskien pitäisi kirjata kuvaus menettelytavoista sekä ehkäisevän että korjaavan kunnossapidon osalta, näiden osalta tulisi pohtia esimerkiksi keskimääräistä kunnossapitoväliä, kunnossapitoaikoja, sekä korjausaikoihin vaikuttavia tekijöitä.

Turvallisuuden osalta on kuvattava tavoitteet ja toimintatavat, tunnistettava järjestelmää koskevat vaarat ja niiden todennäköisyydet. Myös turvallisuuteen liittyvät toiminnot ja niitä koskevat vikaantumiset tulee yksilöidä. Käyttövarmuus pitää määritellä yhdessä kunnossapidon kanssa, käyttövarmuuden arvoon perustuva kunnossapidon politiikka tulee esitellä. RAMS -suorituskyvyn osoittaminen pitää tehdä yhtenäisesti järjestelmän validoinnin ja hyväksymisen kanssa. RAMS -suorituskyvyn osoittamista helpottaa siihen liittyvän tiedon kerääminen laajasti eri alueilta. Toimittajan, jota pidetään tehokkaimpana saavuttamaan projektin RAMS -vaatimukset, tulee laatia sekä RAM -ohjelma että turvallisuussuunnitelma. Standardin liitteessä B on esitetty esimerkki RAMS -ohjelmasta.

### 2.3.2 SFS-EN 60300-sarja

SFS-EN 60300 -sarja on luotettavuuden hallintaan keskittyvä standardisarja. Ensimmäinen osa standardista, 60300-1: ”Luotettavuuden hallintajärjestelmät”, antaa ohjeita luotettavuuden hallintajärjestelmän luomiseksi useimpien organisaatioiden ja projektien tarpeisiin yleisellä tasolla. Tätä päästandardia tukemassa on osa kaksi, 60300-2: ”Ohjeita luotettavuuden hallintaan” -standardi, jonka tarkoituksena on tukea korkeimman tason standardia 60300-1 suosittelemalla moniin tuotteisiin sopivia prosesseja sekä menetelmiä.



**Kuva 9.** Luotettavuuden hallinnan prosessivaiheiden toimintojen järjestys (SFS-EN 60300-1 2004, liite B)

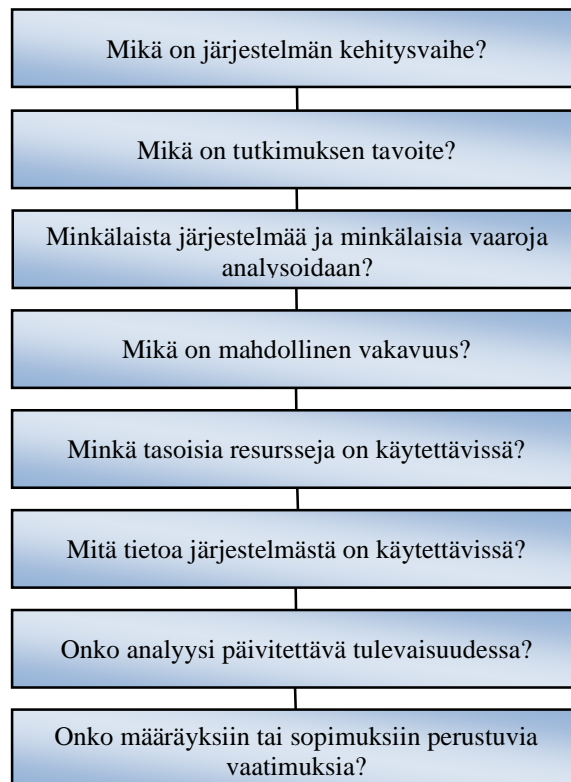
Standardin mukaan yllä (kuvassa 9) kuvattua mallia voidaan soveltaa kaikkiin tuotteen elinkaaren vaiheisiin. Tässä standardissa tuotteen elinkaari on jaettu kuuteen vaiheeseen, jotka ovat: konsepti ja määrittely; suunnittelu ja kehittäminen; tuotanto; asennus; käyttö ja kunnossapito; sekä käytöstä poisto. (SFS-EN 60300-1 2004)

Standardin mukaisessa elinkaarimallissa konsepti- ja määrittelyvaiheessa määritellään tuotteen tarve ja tavoitteet. Tässä vaiheessa luodaan puitteet tuotteet luotettavuudelle ja elinjakso kustannuksille. Vaiheen päätöksillä on ”suurin vaikutus tuotteen toimintojen suorituskyykyyn ja omistamisen kustannuksiin”. (SFS-EN 60300-2 2004)

Standardissa on lueteltu erilaisiin elinkaarenvaiheisiin liittyviin riskianalyysiin kohdistuvia erityistavoitteita. Esisuunnittelu-, määrittely-/suunnittelu- ja kehittämisvaiheelle ne ovat seuraavat:

- 1) Tunnistaa merkittävimmät riskeihin myötävaikuttavat ja liittyvät tekijät;
  - 2) Antaa tietoa suunnitteluprosessille ja arvioida kokonaissuunnittelun riittävyyttä;
  - 3) Tunnistaa suunnitelmaan liittyviä turvallisuustoimenpiteitä ja arvioida niiden merkitystä;
  - 4) Antaa tietoa mahdollisesti vaarallisten laitteistojen, toimintojen tai järjestelmien hyväksyttävyyden arviointiin;
  - 5) Antaa tietoa auttamaan kehitettäessä menettelytapoja normaali- ja hätätilanteita varten;
  - 6) Arvioida riskin merkitystä viranomaisvaatimusten sekä muiden vaatimusten suhteen;
  - 7) Arvioida suunnitelmaehdotuksia.
- (SFS-IEC 60300-3-9 2000)

Standardisarjan osassa 3, luvussa 9 ”Teknisten järjestelmien riskianalyysi” esitetään riskianalyysimenetelmän valitsemiseen liittyviä näkökohtia. Valinnan pohjana käytetään standardissa kuvan 10 lähestymistapaa ja kysymysasettelua. (SFS-IEC 60300-3-9 2000)



**Kuva 10.** Käytettävien analyysien valinta. (SFS-IEC 60300-3-9 2000)

Standardin osan kaksi liitteessä A on esitelty luotettavuusohjelman osat ja tehtävät. Ohjelman osan kaksi tehtävät liittyvät luotettavuustekniikkaan. Näistä tehtävistä luotettavuuden suunnittelussa huomioon otettavia näkökulmia löytyy erityisesti tehtävistä 8-12; toimintavarmuustekniikka, kunnossapidettävyystekniikka, kunnossapitovarmuustekniikka, standardisointi sekä inhimilliset tekijät. (SFS-EN 60300-2 2004)

Toimintavarmuustekniikkaa käytetään luonnehdittaessa käyttöympäristöä ja käyttöolosuhteita sekä laadittaessa suunnittelusääntöjä ja sovellussuosituksia tuotteiden suunnitteluun ja valmistamiseksi toimintavarmiksi. Kunnossapidettävyystekniikan osalta on huomioitava, että tuote suunnitellaan sellaiseksi, että sen kunnossapito on helppoa, taloudellista ja tehokasta. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota testattavuuteen, luoksepäästävyyteen, osien vaihdettavuuteen sekä standardisointiin. Kunnossapitovarmuustekniikassa on kyse kunnossapidon ja kunnossapitoon liittyvän tuen suunnittelusta siten, että niiden avulla varmistetaan tuotteen koko elinkaaren aikainen luotettavuus yhdessä tarkoituksenmukaisen suunnittelun, kunnossapidettävyyden, valmistuksen laadukkuuden ja käyttötoiminnan kanssa. Standardisoinnilla varmistetaan suunnittelun yhdenmukaisuutta tuotespesifikaatioiden kanssa. Inhimilliset tekijät vaikuttavat huomattavasti tuotteen suorituskykyyn. Inhimilliset tekijät pitää huomioida suunniteltaessa koneen ja ihmisen välisiä rajapintoja sekä kunnossapidettävyyttä. Lisäksi inhimillisen virheen aiheuttamat vaikutukset on hahmotettava. (SFS-EN 60300-2 2004)

### 2.3.3 Esimerkki RAMS -suunnitelmasta

Standardien lisäksi on julkaistu useita erityisesti toimintavarmuutta käsitteleviä käsikirjoja. O'Connor (2002) esittää kirjassaan esimerkin toimintavarmuus-, kunnossapidettävyy- ja turvallisuussuunnitelmasta. Tässä työssä luotavan mallin kannalta O'Connorin esittämä esimerkkikuvaus toimii hyvänä muistilistana. Esitetyssä mallissa koko RAMS -kenttä on avattu kattavasti. Esimerkin jaottelun avulla voidaan helposti tarkistaa, että eri osa-alueet on katettu myös tässä työssä luodussa mallissa. Erityisesti esimerkissä on hyvin nostettu esille dokumentoinnin ja vastuiden tärkeys. Nämä osa-alueet on huomioitu muita tutkittuja malleja paremmin. Esimerkin suunnitelma on jaoteltu otsikkotasolla seuraavasti:

#### OSA 1 RAMS -SUUNNITELMAN YLEISKATSAUS

- 1.1 Johdanto
- 1.2 RAMS -vaatimukset
- 1.3 RAMS tehtävät

#### OSA 2 TOIMINTAVARMUUS- JA KUNNOSSAPIDETTÄVYYSTEKNISET TEHTÄVÄT

- 2.1 Toimintavarmuuden mallintaminen
- 2.2 Toimintavarmuuden ennakointi ja jakaminen osajärjestelmille
- 2.3 Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysit
- 2.4 Vikapuuanalyysit
- 2.5 Toimintavarmuuden testaaminen
- 2.6 Vikojen raportointi ja RAMS -monitorointi
- 2.7 Tuotannon toimintavarmuuden toiminnot
- 2.8 Kunnossapitoanalyysit ja demonstraatio
- 2.9 Käytön aikainen RAMS -monitorointi

#### OSA 3 TURVALLISUUSTEKNISET TEHTÄVÄT

- 3.1 Alustavat vaara-analyysit
- 3.2 Järjestelmän ja osajärjestelmien vaara-analyysit
- 3.3 Vaarojen seuranta

#### OSA 4 PROJEKTIN RAMS -HALLINTA JA RAPORTOINTI

- 4.1 Vastuut
- 4.2 RAMS -katselmukset

Liite 1 RAMS -työsuunnitelma

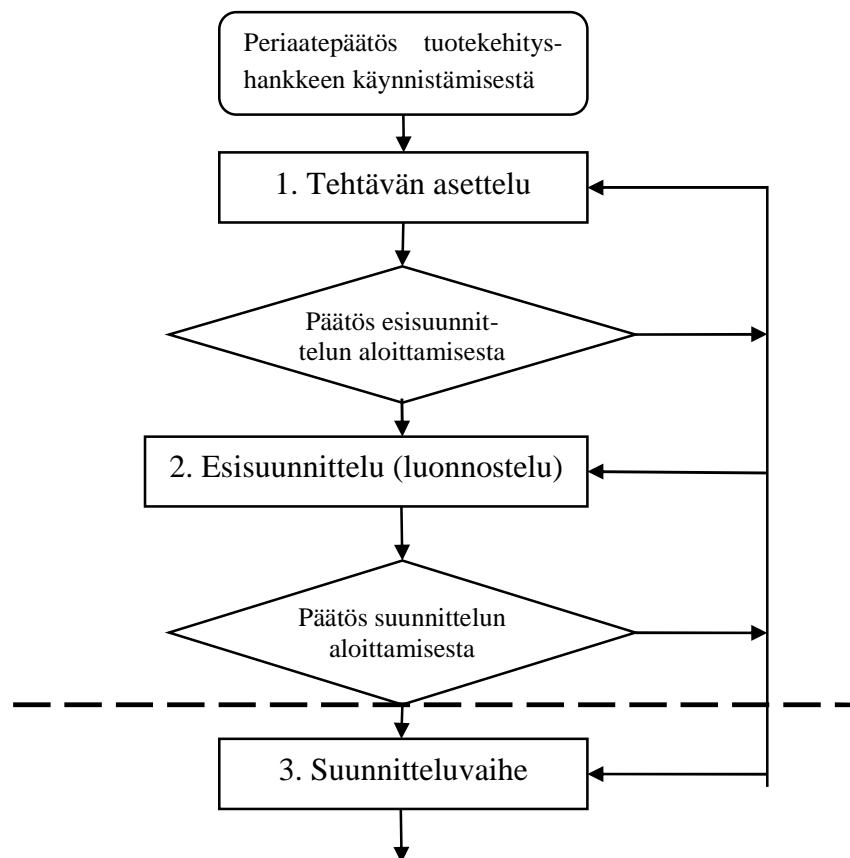
Liite 2 RAMS -tuotokset (O'Connor 2002, ss. 497-498)

Jokainen edellä esitetty kohta on kuvattu kirjassa tarkemmin siten, että kuvaukset muodostavat esimerkkisuunnitelman. Malli kuvaa organisoinnin ja vastuut suunnitteluun, kehittämiseen, tuotantoon sekä käytön aikaisiin tukitoimintoihin liittyvien RAMS -tehtävien osalta. Lisäksi siinä esitetään suoritettavat RAMS -tehtävät.

### 2.3.4 Turvakaari-hanke

Turvakaari-hanke on vuonna 2006 päättynyt yritysryhmähanke, jossa tutkimustahoina toimivat VTT, MTT Vakola sekä Teknologiateollisuus ry. Hankkeen raportissa ”Työkoneiden ja työkonejärjestelmien yleinen turvallisuus- ja käyttövarmuustiedon hallintamalli” on esitetty malli työkoneiden ja työkonejärjestelmien RAMS -hallintaan.

Raportissa kuvattu malli perustuu ensisijaisesti standardeihin EN 50126 (1999) sekä VDI 2221 (1987). Turvakaari-hankkeen raportissa esitetty prosessikaavio elinkaaren vaiheista pohjautuu VDI 2221 -standardissa kuvattuun tuotteen elinkaarimalliin (VDI 2221 1987, s. 6). Kuvassa 11 on esitetty Turvakaari-hankkeessa luodun elinkaarimallin tälle työlle relevantit vaiheet. Standardista EN 50126 ja siinä esitetystä mallista on kerrottu enemmän luvussa 2.3.1.



**Kuva 11.** Prosessikuvaus tuotteen elinkaaren alkuvaiheista (Suutarinen et al. 2005)

Turvakaari-hankkeessa kehitetyssä mallissa kullekin elinkaaren vaiheelle esitetään tavoitteet, yleiset ja RAMS -tehtävät sekä kerrotaan vaiheesta saatavat tulokset. Tehtävänasetteluvaiheessa asetetaan tuotekehitysprojektin tavoitteet ja vaatimukset. Vaiheen yleisiä tehtäviä ovat suunnittelutehtävän lähtötietojen kerääminen ja analysointi sekä tavoitteiden ja vaatimusten asettaminen. Ensimmäisen vaiheen RAMS -tehtävinä esitetään suunnittelutehtävän RAMS -lähtötietojen kerääminen ja analysointi, lainsäädännön

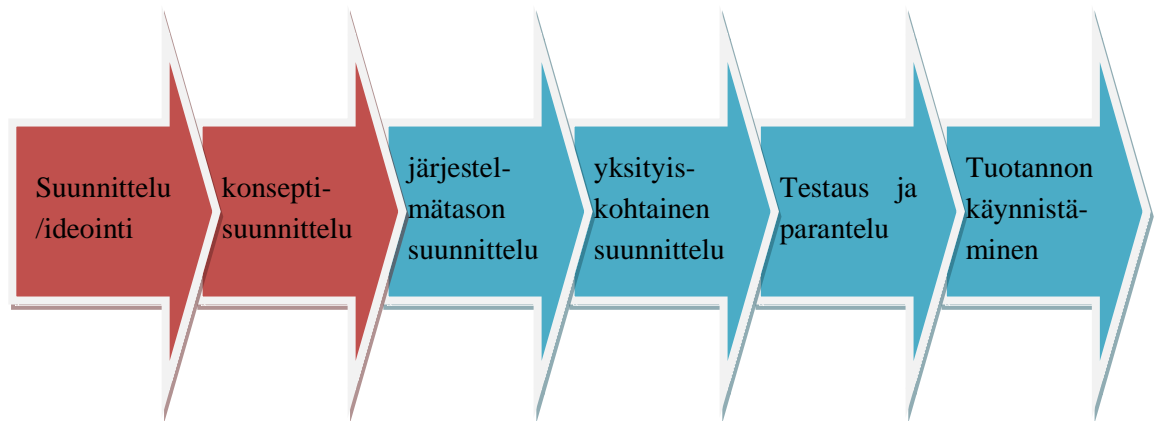


RAMS -vaatimusten selvittäminen, alustavien RAMS -analyysien tekeminen, RAMS -tavoitteiden ja -vaatimusten asettaminen, sekä vastuutahot ja mahdollinen yhteistyö. Vaiheen tuloksena saadaan tuotespesifikaatio, jossa on määritelty vaatimusten hyväksymiskriteerit.

Kun päätös tuotekehitystyön jatkamisesta ja esisuunnittelun aloittamisesta on tehty, siirytään esisuunnitteluvaiheeseen (luonnostelu). Tämän vaiheen tavoitteena on tehdä ratkaisuluonnokset kehitettävästä tuotteesta sekä luoda edellisessä vaiheessa määritellyn tuotespesifikaation pohjalta kokonaiskuva eli konsepti. Vaiheen yleiset tehtävät ovat mallin mukaan koneen käyttöympäristön määrittely, koneen toimintojen määrittely, kokonaisjärjestelmän hahmottaminen, sekä kokonaisratkaisuluonnosten arviointi ja valinta. Vastaavasti vaiheeseen liittyvät RAMS -tehtävät ovat tarkennettujen RAMS -analyysien tekeminen, riskin arvioinnin tekeminen, tarkennettujen RAMS -vaatimusten ja hyväksymiskriteerien määrittely ja osittaminen osajärjestelmille, sekä vastuutahojen ja mahdollisen yhteistyön määrittelemine. Vaiheen tuloksena saadaan tuotekonseptin kuvaus, käyttö- ja huoltokonsepti, koneen RAMS -vaatimukset sekä vaaratekijäluettelo. Vaiheen jälkeen tehdään päätös suunnittelun aloittamisesta.

## 2.4 Tuotekehitysprosessi

Tuotekehitys on joukko toimenpiteitä, joka alkaa liiketoimintamahdollisuuden havaitsemisesta ja päättyy lopulta tuotteen valmistamiseen, myymiseen sekä toimittamiseen. Ulrichin & Eppinger (2004) esittävät tuotekehitysprosessimallin, joka jakaantuu kuuheen vaiheeseen (kuva 12). Prosessi alkaa suunnittelu-/ideointivaiheella (planning), jota nimitetään myös nollavaiheeksi, sillä se suoritetaan ennen projektin hyväksyntää ja varsinaiseen tuotekehitysprosessiin siirtymistä. Ideointivaiheen jälkeen siirytään konseptisuunnitteluvaiheeseen (concept development), jonka puitteissa selvitetään kohdemarkkinoiden tarpeita, luodaan vaihtoehtoisia tuotekonsepteja, vertaillaan niitä ja lopulta yksi tai useampi konsepti valitaan jatkokehitykseen ja -testaukseen. Konseptisuunnittelun jälkeiset vaiheet ovat järjestelmätason suunnittelu (system-level design), yksityiskohtainen suunnittelu (detail design), testaus ja parantelu (testing and refinement) sekä tuotannon käynnistäminen (production ramp-up). (Ulrich & Eppinger 2004, ss. 13-15)



**Kuva 12.** Tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich & Eppinger 2004, s. 9)

Edellä esitetty Ulrichin ja Eppingerin tuotekehityksen malli on yleisluonteinen, kaikille tuotekehityksprojekteille yleistetty malli. Yleinen malli on suunniteltu lähinnä markkinavetoisten tuotteiden suunnitteluun. Niinpä se lähtee siitä olettamuksesta, että yritys alkaa kehittämään tuotetta liiketoimintamahdollisuuden pohjalta. Erilaisten tuotekehitysten osalta malliin on tehtävä joitakin muutoksia ja tarkennuksia. (Ulrich & Eppinger 2004)

Innovointiprosessi voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat sumea alkupää, uuden tuotteen kehitysprosessi ja kaupallistaminen. Sumean alkupään vaihetta pidetään yleisesti ottaen vaiheena, jota parantamalla voidaan saavuttaa merkittävintä kehitystä koko innovointiprosessissa. (Koen et al. 2002) Toisinaan innovointiprosessi kuitenkin jaetaan neljään osaan, jolloin kaksi ensimmäistä, ennakointi ja konseptisuunnittelu yhdessä muodostavat niin sanotun sumean alkupään. Tätä vaihetta seuraa edellä esitetyn mukaisesti uuden tuotteen kehittäminen ja lopulta kaupallistaminen. (Paasi & Valkokari 2010, s. 23)

Pahl & Beitz (1990) puhuvat tuotekehityksen tai innovoinnin sijaan konstruoinnista. He määrittelevät konstruoinnin ”ajatuksen realisointina, joka pyrkii täyttämään asetetut vaatimukset parhaimmalla mahdollisella tavalla.” Konstruoinnin päävaiheiden karkeaksi jaoksi ehdotetaan prosessin jakamista tehtävän selvittelyyn, luonnosteluun, kehittelyyn, sekä viimeistelyyn. (Pahl & Beitz 1990)

Edellä käsitellyt termit ”tuotekehitys”, ”innovointi” sekä ”konstruointi” tarkoittavat jokseenkin samaa asiaa. Kaikki kuvaavat tuotteen suunnittelemista ja siihen liittyvää prosessia. Innovointi termi kuitenkin korostaa muita esitettyjä termejä selkeämmin myös varsinaisen tuotesuunnittelun tuloksena syntyvän tuotteen kaupallistamista.

#### **2.4.1 Konseptisuunnittelu ja innovoinnin alkupää**

Tuotekehityksen vaiheet, jotka edeltävät varsinaista uuden tuotteen kehitysvaihetta ovat ratkaisevia sen suhteen, tuleeko tuotteesta menestyvä vai ei. Menestyvät yritykset käyt-

tävät Cooperin (2005) mukaan noin kaksinkertaisesti aikaa ja rahaa näihin alkupään vaiheiden toimintoihin verrattuna kilpailijoihinsa. Näihin uuden tuotteen kehitysvaihetta edeltäviin elintärkeisiin toimintoihin voidaan katsoa kuuluvaksi seuraavanlaisia aktiviteetteja:

- Ensimmäinen seulonta – ensimmäinen päätös aloittaa projekti
- Alustava markkina-arvio – ensimmäinen, nopea markkinatutkimus
- Alustava tekninen arviointi
- Yksityiskohtainen markkinatutkimus ja asiakastarpeiden määrittäminen
- Liiketoiminta- ja talousanalyysi juuri ennen suunnittelun käynnistämispäätöstä (Cooper 2005)

Kokemuksen perusteella voidaan todeta, että ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista tehty työ ja siihen käytetyt resurssit, niin aika kuin rahakin, maksavat itsensä takaisin suunnitteluprosessin myöhemmissä vaiheissa. Usein pelkona on suunnitteluprosessin venyminen alkupään hitauden vuoksi. (Cooper 2005) Nopeaan tuotekehitykseen tähtäävät vaatimukset ovatkin jossain määrin ristiriidassa konseptointivaiheen ratkaisujen merkittävyyden kanssa (Apilo & Taskinen 2006). Pelko projektin venymisen suhteen on toki aiheellinen. Toisaalta kaikki tutkimustulokset viittaavat siihen, että alkupään toimintojen laiminlyönnit johtavat huomattavan suureen todennäköisyyteen epäonnistua tuotteen suhteen. On siis valittava mahdollisen projektin pitkittymisen ja huomattavasti kasvaneen epäonnistumistodennäköisyyden väliltä. (Cooper 2005) Tämäkin on eräänlainen ilmentymä tuotekehitysprosessiin välttämättömänä osana kuuluvasta kompromissien tekemisestä.

On olemassa todisteita myös siitä, että huolella suoritettut tuotekehityksen alkupään toimet itse asiassa nopeuttavat koko tuotekehitysprosessin valmistumista. Tämä on seurausta siitä, että yksi merkittävimmistä aikatauluista myöhästymisen tekijöistä ovat huonosti määritellyt tuotekehityshankkeet, jotka viedään varsinaiselle tuotekehitystasolle. Lisäksi on huomattava, että mitä aikaisemmin erilaiset muutokset ja korjaukset tuotteen suunnittelussa voidaan tehdä, sitä edullisemmaksi ne tulevat. Kääntäen siis voidaan todeta, että mitä myöhemmin korjaaviin toimiin ryhdytään, sitä suuremmat ovat aiheutuneet kustannukset. (Cooper 2005)

Tuotekehityksen alkupään vaiheita voidaan nimetä eri tavoin. Useista eri jaotteluista ja nimeämisistä huolimatta lähes kaikista lähteistä on erotettavissa jokseenkin helposti ne vaiheet, jotka esiintyvät ennen varsinaista ja raskasta tuotekehitysvaihetta.

Innovoinnin alkupäätä nimitetään usein ”sumeaksi alkupääksi” (fuzzy front end), joka tarjoaa yhden suurimmista mahdollisuuksista parantaa koko innovointiprosessia. Samanaikaisesti innovaatioprosessin alkupää näyttäisi edustavan heikoimmin toteutettua osaa koko innovaatioprosessissa. (Koen et al. 2001) Sumea alkupää koostuu niistä toiminnoista, jotka edeltävät formaalia ja tarkasti jäsentynyttä uuden tuotteen kehityspro-

sessia (Koen et al. 2002). Termi ”sumeaa alkupää” antaa kuvan innovoinnin alkupäästä vaiheena, jota dominoivat tuntemattomat ja hallitsemattomat tekijät. Nimi on sinällään harhaanjohtava. Samalla termi antaa ymmärtää, ettei innovointiprosessin alkupää ole milloinkaan hallittavissa ja tuotekehitysalan ulkopuolella toimiville syntyikin helposti käsitys prosessista, joka on jatkuva rasite yrityksen resurssien käytölle. Koen et al. (2001) ehdottavatkin luopumista koko ”sumeaa alkupää” -termistä ja sen korvaamista termillä ”innovoinnin alkupää” (front end of innovation). (Koen et al. 2001)

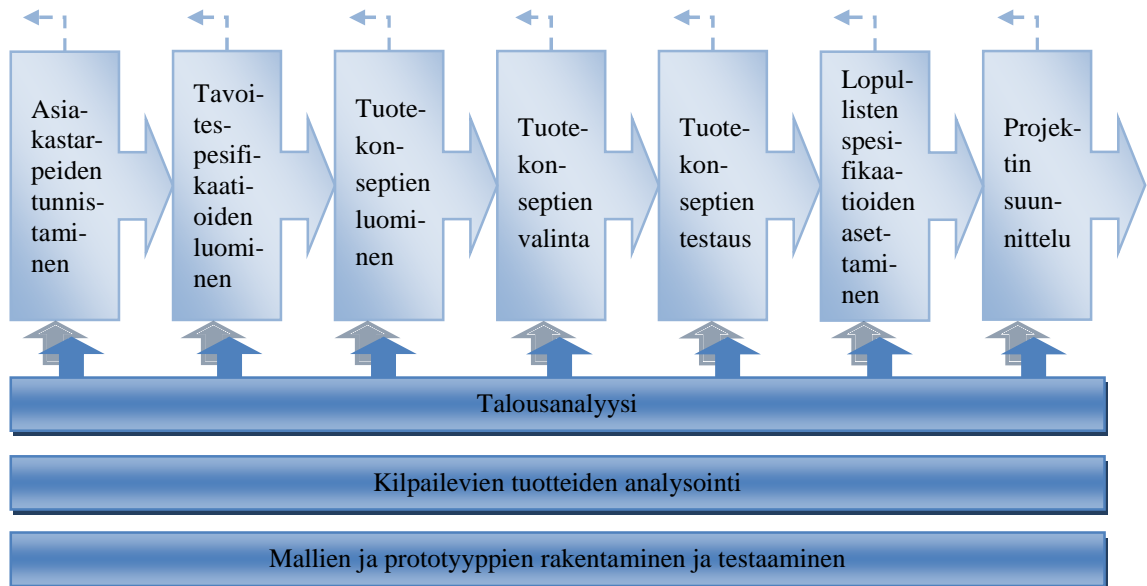
Cooperin artikkelin (2005) mukaan kaksi pahinta aikaa tuhlaavaa tekijää uuden tuotteen kehitysoikeudessa ovat projektin määrittelyjen jatkuva vaihtuminen sekä tuotteen vaatimusten jatkuva muuttuminen. Projektin määrittelyjen muuttumisella tarkoitetaan esimerkiksi yhdelle asiakkaalle suunnatun projektin muuttumista ensin usealle käyttäjälle suunnatuksi projektiksi ja lopulta päätyen alustaksi kokonaiselle projekti perheelle. Vastaavasti tuotteen vaatimusten muuttuminen tulee esille tuotteen vaatimusten ja spesifikaatioiden muuttumisena koko tuotekehitysoikeuden ajan. (Cooper 2005)

Edellä esitettyjen sudenkuoppien välttämiseksi on olemassa yksinkertainen ennaltaehkäisykeino: suoritetaan ennen varsinaiseen tuotekehitysvaiheeseen siirtymistä tehtävät toimenpiteet riittävän tarkasti ja tehokkaasti. Se, kuinka tarkasti ja hyvin tuotteeseen ja tuotekehitysoikeuteen liittyvät määrittelyt on suoritettu projektin alkupäässä, vaikuttaa merkittävästi sekä kannattavuuteen että suunnittelu-aikaan. (Cooper 2005) Kaiken kaikkiaan tuotekehitysoikeuden edetessä vaikutusmahdollisuudet lopulliseen tuotteeseen vähenevät. Siitä huolimatta usein käy niin, että mielenkiinto projektia kohtaan kasvaa vasta siinä vaiheessa, kun jotain konkreettista, esimerkiksi kuvia ja prototyyppisiä suunniteltavista kohteista on saatavilla. (Apilo & Taskinen 2006)

Uusien tuotteiden kehittäminen on itse asiassa jatkuvaa riskienhallintaa. Kaikkien riskien välttämisen uusia tuotteita suunniteltaessa on mahdotonta, ellei yritys sitten päädy lopettamaan koko innovointitoimintaa. (Cooper 2001, s. 123) Hyvin suunnitellut ja toteutetut riskianalyysit pitäisikin liittää jokaisen tuotekehitysoikeuden osaksi. Joillakin, esimerkiksi turvallisuuskriittisillä aloilla, se on jo sinällään vaatimus, mutta myös muilla aloilla riskianalyysien avulla voidaan edesauttaa toivottavien tulosten saavuttamista. (Nelson & Eubanks 2005)

Tulevaisuus on ja tulee aina olemaan arvaamaton, mutta uhkien ja mahdollisuuksien havaitseminen oikeiden tekniikoiden avulla auttaa hallitsemaan sitä. Kulloisessakin tilanteessa oikeat tekniikat on määritettävä erikseen. Lyhyissä hankkeissa voidaan pitkälle soveltaa nykyisten trendien ekstrapolointia, kun taas pidemmissä hankkeissa joudutaan turvautumaan erilaisiin tekniikoihin epävarmuuteen varautumiseksi. (Paasi et al. 2008)

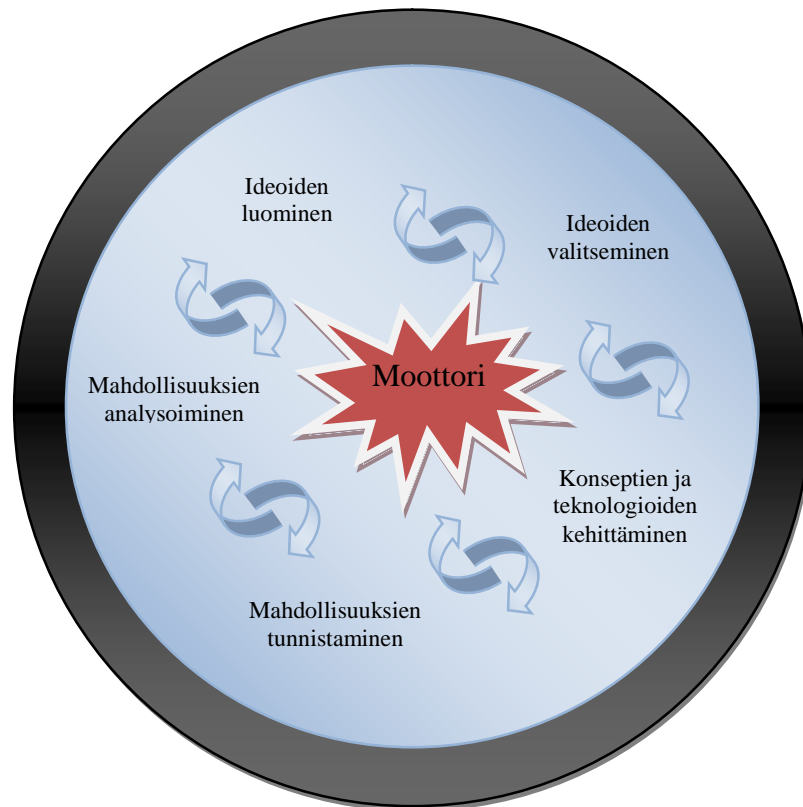
Konseptisuunnitteluvaihe (concept development phase) vaatii tuotekehitysprosesseista eniten ohjausta. Kuvassa 13 on esitetty Ulrichin ja Eppingerin lanseeraama näkemys konseptisuunnittelun vaiheista. Vaikkakin vaiheet kuvataan toisiaan seuraavina, todellisuudessa ne ovat osin päällekkäisiä ja iteraatiota ilmenee, tätä iteraatiomahdollisuutta kuvassa esittävät katkoviivanuolet. (Ulrich & Eppinger 2004)



**Kuva 13.** Konseptusuunnittelun vaiheita (Ulrich & Eppinger 2004, s. 16)

Toisin kuin Ulrichin ja Eppingerin kuvauksessa uuden konseptin suunnittelun osalta, ovat Koen et al. (2001) esittäneet selkeästi enemmän vaiheiden päällekkäisyyttä ja epälineaarisuutta kuvaavan mallin (kuva 14). Malli koostuu kolmesta pääosasta. Ensinnä ovat sisäosan viisi pääelementtiä, joista innovoinnin alkupää muodostuu. Toisena osana on kuvan keskiössä sijaitseva moottori, joka ohjaa edellä mainittuja elementtejä. Kolmantena osana on reunalla sijaitseva ympäristö, joka koostuu organisaation kyvykkyydestä, liiketoimintastrategiasta, ulkoisesta maailmasta ja hyödynnettävästä tiedosta. Koen et al. (2001) tunnistamat innovoinnin alkupään muodostavat pääelementit ovat mahdollisuuksien tunnistaminen, mahdollisuuksien analysoiminen, ideoiden luominen, ideoiden valitseminen sekä konseptien ja teknologioiden kehittäminen.

Ympyrämaisella muodolla halutaan korostaa konseptisuunnittelun vaiheiden päällekkäisyyttä. Vaiheet seuraavat toisiaan ennalta määräämättömässä järjestyksessä ja samaan vaiheeseen voidaan palata monta kertaa. Lähestymistapa on siis erilainen verrattuna varsinaiseen tuotekehitysvaiheeseen, jossa eri vaiheet seuraavat toisiaan peräkkäisinä. Varsinaisessa tuotekehitysvaiheessa palaaminen ja vaiheiden välillä poukkoilu yhdistetään merkittäviin myöhästymisiin, lisäkustannuksiin sekä huonosti johdettuihin projekteihin. (Koen et al. 2001)



**Kuva 14.** Uuden konseptin kehittäminen (mukailtu lähteestä Koen et al. 2001)

Myös termillä konseptointi (conceptualisation) kuvataan innovaatioprosessin sumeaa alkupäätä. Sumean alkupään hallinta on avainasemassa luotaessa menestyviä innovaatioita. Jotta innovointiprosessin alkupäätä voitaisiin hallita, on se ensin mallinnettava. Käytännössä tämä tarkoittaa vaiheiden, vaikuttavien tekijöiden sekä päätöksentekopisteiden tunnistamista, eri vaiheisiin sisään menevien ja sieltä ulostulevien tietojen määrittämistä, sekä päätöksenteossa käytettävän tiedon määrittelemistä ja niin edelleen. (Paasi et al. 2009)

Muissa lähteissä esitettyjen alkupään vaiheiden ja tämän työn rajauksen kannalta Pahl & Beitzin (1990) esittämän mallin tehtävän selvittely ja luonnostelu vaiheet kuuluvat kokonaisuudessaan valittuun aihepiiriin. Sen sijaan kehittelyvaihe voidaan nähdä koostuvan jo varsinaisen tuotesuunnittelun elementeistä, tätä rajanvetoa tukee myös saman teoksen englanninkielisen laitoksen termit, jossa luonnostelu on nimetty ”conceptual designiksi” ja kehittely ”embodiment designiksi”. Myös Pahl & Beitz (1990) painottavat erilaisten työvaiheiden ja päätöspisteiden käyttöä, jotta varmistuttaisiin siltä, ettei suunnitelmassa esiintyviä merkittäviä puutteellisuksia huomattaisi vasta lopuksi.

Pahl & Beitzin (1990) esittämän mallin mukaan tehtävänasettelun selvityksessä hankitaan tieto ratkaisulle asetetuista vaatimuksista, sekä yleisistä reunaehdoista. Tämä johtaa vaatimuslistan laatimiseen. Vaatimuslistadokumentti toimii pohjana luonnostelulle sekä sitä seuraaville työvaiheille. Luonnosteluvaiheessa määritetään ratkaisuperiaate. Luon-

nosteluvaihe koostuu useammasta työvaiheesta, jotka läpikäymällä pyritään siihen, että kehitettäväksi valittaisiin paras mahdollinen ratkaisu. Tämä valinta on siinä mielessäkin tärkeä, ettei kehittelyn ja viimeistelyn aikana voida ainakaan merkittävästi poistaa luonnokseen jääneitä perustavaa laatua olevia heikkouksia. Kaikki käsitellyt luonnosmuunnelmat on arvosteltava siten, että ne jotka eivät täytä vaatimuslistassa asetettuja vaatimuksia hylätään, ja loput arvioidaan sovituin menetelmin. (Pahl & Beitz 1990)

#### **2.4.2 Tuotekonsepti**

Konsepti voidaan määritellä monella eri tavalla. Tämän työn osalta relevantteja määritelmiä ovat esittäneet muun muassa Ulrich & Eppinger (2004), Koen et al. (2002) sekä Paasi et al. (2007). Kirjallisuudessa esitetyt määritelmät konseptille ovat varsin yhteneviä.

Konsepti on kuvaus tuotteen muodosta, toiminnoista ja ominaisuuksista. Sen mukana on yleensä selvityksiä, kuten analyysiä kilpailevista tuotteista sekä taloudellista oikeutusta projektille tukevia selvityksiä (Ulrich & Eppinger 2004, s. 15). Se on siis eräänlainen kirjallinen dokumentti, jonka pohjalta suunnittelua voidaan jatkaa.

Tuotekonsepti on likimääräinen kuvaus tuotteen teknologiasta, toimintaperiaatteesta ja muodosta. Se on ytimekäs kuvaus siitä, miten tuote täyttää asiakastarpeet. Konsepti on useimmiten hahmotelma tai karkea kolmiulotteinen malli, johon on liitetty lyhyt kirjallinen kuvaus tuotteesta. Hyväkin konsepti voidaan toteuttaa huonosti tuotekehityksen myöhemmissä vaiheissa, mutta huonosta konseptista saadaan harvoin kehitettyä menestyvää tuotetta markkinoille. Konseptien luominen on verrattain nopea ja edullinen prosessi verrattuna muihin tuotekehitysprosessin vaiheisiin. Tästä syystä on perusteltua luoda perinpohjainen toimintatapa konseptien kehittämiseksi. (Ulrich & Eppinger 2004, s. 98)

Koen et al. (2002) kuvaavat konseptin hyvin määritellyksi aihioksi, joka sisältää sekä kirjallisen, että visuaalisen kuvauksen sisältäen edelleen tiedot pääominaisuuksista, asiakkaan hyötynäkökulman sekä laajan ymmärryksen tarvittavasta teknologiasta. Sen sijaan varhaisemmassa vaiheessa olevia hankkeita nimitetään joko mahdollisuuksiksi tai hieman pidemmällä ollessaan ideoiksi. (Koen et al. 2002)

Paasi et al. (2007) määrittelevät konseptin perinteistä ajattelua laajemmin (vertaa esimerkiksi Ulrich & Eppinger, 2004). Perinteiseen malliin nähden se sisältää teknologian ja taloudellisen näkökulman tuotteesta. Taloudellista näkökulmaa edustaa asiakastarpeen määrittelyn lisäksi näkemys siitä, miten yritys tulee tekemään tuottoa konseptin määrittelemän tuotteen avulla tulevaisuudessa. (Paasi et al. 2007)

### 2.4.3 Stage-Gate® -malli

Stage-Gate® -malli jakaa innovaatioprosessin ennalta määrättyihin erillisiin ja tunnistettaviin vaiheisiin. Seuraavaan vaiheeseen kuljetaan aina portin kautta. Portit toimivat prosessin valvojina sekä tarjoavat laadun varmistusta ja toimivat projektin jatkamisen päätöksentekopisteinä. Jokainen vaihe suunnitellaan siten, että seuraavalle portille siirtymiseen tarvittavat tiedot kerätään vaiheen aikana. Jokainen vaihe on aina edellistä kalliimpi toteuttaa ja niinpä prosessista tulee sitoumuksiltaan kasvava. (Cooper 2001, ss. 129-130)

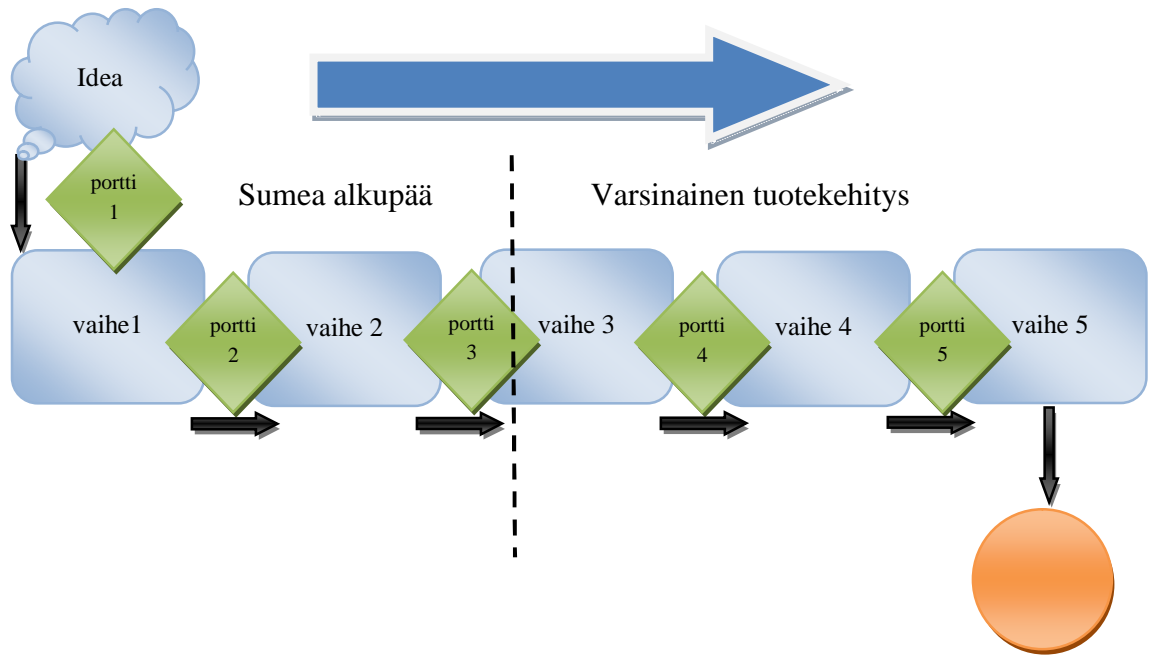
Yritykset, jotka ovat luoneet itselleen tehokkaan ja systemaattisen tuotekehitysprosessin, keskittyvät seuraavaksi projektien valitsemiseen liittyvään prosessiin eli porttien hallintaan. Pisteyttäkseen ja priorisoidakseen projekteja yritykset luovat tiukkoja porttikriteereitä ja käyttävät tuloskortteja, koska rajalliset resurssit on kohdennettava oikeille projekteille. Liian moneen projektiin sitoutuminen jakaa käytettävissä olevat resurssit turhan laajalle aiheuttaen sen, ettei yhteenkään projektiin riitä kohdennettavaksi tarpeeksi resursseja. (Cooper et al. 2002)

Pahl & Beitz (1990) kiinnittävät paljon huomiota ratkaisuvaihtoehtojen arvioinnissa käytettäviin kriteereihin ja pisteytykseen. Heidän mukaansa niin kutsutun pistearvioinnin ensimmäinen askel on asettaa tavoitteet, joiden pohjalta arviointikriteerit ratkaisuvaihtoehtojen vertailemiseksi luodaan. Tavoitteet tulee esittää mahdollisimman yksikäsittéisesti, niiden pitää olla mahdollisuuksien mukaan toisistaan riippumattomia, ja ne pitäisi esittää, mikäli mahdollista, kvalitatiivisessa muodossa. Lisäksi on pidettävä huoli siitä, että asetetut tavoitteet kattavat mahdollisimman laajasti päätöksentekoon vaikuttavat vaatimukset ja yleiset reunaehdot. Tavoitteiden pohjalta luotavat arviointikriteerit pitäisi ilmaista positiivisessa muodossa, esimerkiksi ”meluttomuus” ”äänekkyyden” sijasta. (Pahl & Beitz 1990, s. 141)

Luonnosteluvaiheessa, jolloin saatavilla olevan tiedon määrä on rajallinen, ei ole tarkoituksenmukaista antaa eri vaatimuksille painoarvoja, vaan tässä vaiheessa arviointikriteerit olisi hyvä määrittää siten, että ne ovat suunnilleen yhtä tärkeitä. Luonnosteluvaiheessa myös voidaan vielä jättää huomioimatta vähemmän tärkeitä ominaisuuksia, joita voidaan arvioida suunnitelmien ja tietojen tarkentuessa. Mikäli arviointiin kuitenkin joudutaan jostakin pakottavasta syystä ottamaan mukaan selvästi eriarvoisia kriteereitä, on ne syytä jollakin tavalla painottaa. (Pahl & Beitz 1990, s. 158)

Kuvassa 15 on esitetty perinteinen viisiportainen Stage-Gate® -malli, joka on käytössä useiden yritysten tuotekehitysprosesseissa sekä Suomessa että muissa länsimaissa (Apilo & Taskinen 2006). Tämän työn osalta relevantteina vaiheina voidaan pitää kahta ensimmäistä varsinaista vaihetta sekä kolmea ensimmäistä porttia. Tällä kohdalla kulkee myös raja innovaationprosessin alkupään ja varsinaisen tuotekehityksen välillä.





**Kuva 15.** Perinteinen viisivaiheinen Stage-Gate® -malli (mukailtu lähteestä Cooper 2001)

Viisiportaisessa Stage-Gate® -mallissa kaksi ensimmäistä varsinaista vaihetta ovat 1) rajausta ja 2) liiketoimintamallin rakennus. Vastaavasti kolme ensimmäistä porttia on nimetty seuraavasti: 1) ideoiden karsinta (idea screen), 2) toinen karsinta (second screen) ja 3) tuotekehitykseen siirtäminen (go to development). Kolmas portti on viimeinen hetki, jossa projekti voidaan hylätä ennen sen siirtymistä varsinaiseen tuotekehitysprosessiin, jossa menot kasvavat suuriksi. (Cooper 2001, ss. 130-138) Kim & Wilemon (2002) kuvaavat tätä porttia erityisen kriittiseksi, koska siinä lopulta määritetään, onko yritys valmis investoimaan projektiin ja missä määrin.

Tuotekehitysprosessi on niin sanottu karsiva prosessi, jossa alussa on monia erilaisia ideoita ja lopuksi markkinoille valikoituu (toivottavasti) vain vahvimmat. Osana tätä karsivaa prosessia on olemassa portteja, joilla karsintaa suoritetaan. ”Porttivahtien” tehtävänä on kullakin portilla suorittaa karsintaa asetettujen ehtojen pohjalta. (mm. Schmidt 2005)

Innovoinnin aloittavan ideointivaiheen jälkeen tapahtuu ensimmäinen karsinta, jossa ideoiden, visioiden ja projektien määrää vähennetään. Ideoiden kehittelyn jatkamiseen pitäisi suhtautua kriittisesti prosessin aikaisessa vaiheessa, ja kehittelyn lopettamista olisikin syytä suosia. (Paasi et al. 2008) Teoreettisesti mahdolliset, mutta käytännössä toteuttamiskelvottomat ja liian kalliit ratkaisut on pyrittävä karsimaan mahdollisimman aikaisin. Samalla on kuitenkin varottava liiallista karsimista, sillä parhaat ratkaisut syntyvät usein vasta yhdistelemällä eri ratkaisumalleja. (Pahl & Beitz 1990, s. 133) Projektien jatkamista pitäisi itse asiassa tarkastella aiempaa kriittisemmin jokaisella portilla

(Apilo & Taskinen 2006). Pahl & Beitz (1990) muistuttavat, ettei ole olemassa aukoton-ta tapaa, jolla ideoiden vallinnassa vältettäisiin virheratkaisut, järjestelmällisellä ja jäl-keenpäin jäljitettävällä toimintatavalla on kuitenkin mahdollista parantaa onnistumisto-dennäköisyyttä.

Idealle voidaan karsinnan tuloksena antaa erilaisia päätöksiä koskien projektin jatkamis-ta. Tällaisia esityksiä voivat olla esimerkiksi lopeta, pidä hallussa tai jatka -päätökset. Tässä tapauksessa ”lopeta” tarkoittaisi idean hylkäämistä tai kierrättämistä, ”pidä halus-sa” idean tarkastelemista siten, että se voitaisiin myöhemmin ottaa uudelleen mukaan varsinaiseen innovointiin, ”jatka” esityksen saanut idea voidaan esittää eteneväksi tuo-tekehitykseen, kaupallistamiseen, julkaisemiseen, myyntiin ja niin edelleen riippuen siitä, missä vaiheessa prosessia karsintaa ollaan tekemässä. (Paasi et al. 2008) Mikäli ideoiden laadinnasta luovutaan välittömästi ensimmäisen ilmaannuttua, päädytään tätä yhtä ideaa viemään väkisin eteenpäin. Tällöin on tavallista, ettei idean kehittyessä sitä enää osata tarkastella kriittisesti ja projektia tuskin keskeytetään porttimallin olemassa-olosta huolimatta, vaikka perusteluja sille olisikin. (Apilo & Taskinen 2006)

Porteilla tehtävät päätökset ovat avainasemassa hallittaessa tuotekehitysprojektin riske-jä. Siitä huolimatta niiden tekeminen on yksi heikoimmin ymmärretyistä vaiheista tuo-tekehitysprosesseissa. Tuotekehityksen muuttuessa yhä tärkeämmäksi yritysten menes-tyksen kannalta, tulisi ymmärryksen porttien jäsentämisen ja porteilla tehtävien päätös-ten osalta parantua. (Schmidt 2005) Myös Cooper (2001, s. 102) toteaa, että monissa yrityksissä projektien evaluointi on heikkoa, tehotonta tai sitä ei suoriteta ollenkaan.

Schmidt (2005) esittää kaksi erityyppistä porttia käytettäväksi. Ensimmäinen niin sanot-tu joustamaton portti on sellainen, jossa tuotteen tulee täyttää kaikki sille asetetut vaati-mukset, ja jo yhden vaatimuksen täyttämättömyys itsessään estää prosessin etenemisen. Toinen tyyppi on joustavampi portti, jolla kriteerien täyttymisen suhteen ei olla aivan yhtä tiukkoja ja tuote saattaa saada jatkomahdollisuuden vaikka ei täyttäisikään aivan kaikkia sille asetettuja vaatimuksia. (Schmidt 2005)

Molemmille porttityypeille yhteisenä asiana esitetään niiden muodostuminen kolmesta komponentista; tuotokset, kriteerit sekä päätökset (esimerkiksi jatka/lopeta) (Cooper 2001, ss. 131-132). Samoin kuin portit voidaan jakaa kahteen ryhmään, myös niillä käy-tettävät kriteerit on jaettu kahtia siten, että on olemassa ehdottomia ja suositeltavia kri-teerejä. Porteilla käytettävät kriteeri tarkentuvat ja tiukentuvat tuotekehitysprosessin edetessä kohti valmista tuotetta. Tämä johtuu muun muassa siitä, että siirryttäessä lä-hemmäksi todellista tuotetta arviot, laskennat ja testit tarkentuvat, oletusten määrän sa-man aikaisesti vähentyessä. (Schmidt 2005)

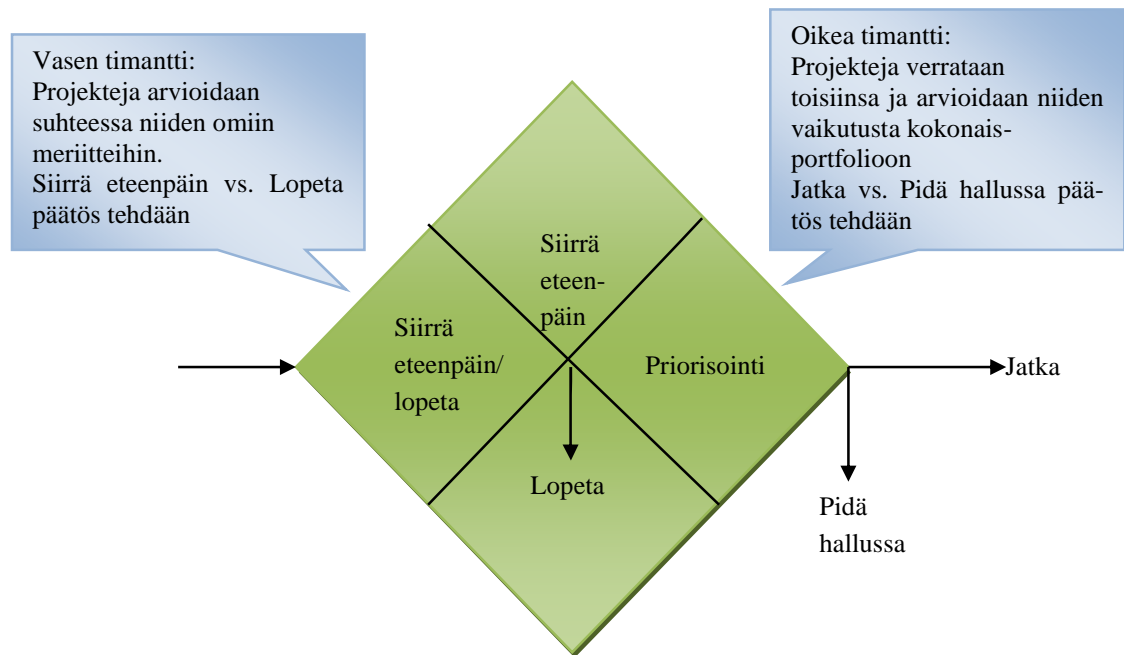
Porteilla käytettävien kriteereiden on oltava selkeitä ja nähtävillä (Cooper et al. 2002). Kriteerit on syytä julkaista kirjallisessa muodossa, jolloin myös organisaatiossa projek-

tin ulkopuolella työskentelevien on mahdollista päästä käsiksi kriteereihin. (Schmidt 2005) Kriteereiden pohjalta porttivahtien on voitava suorittaa jatka/lopetta -päätöksensä objektiivisesti. Ennen kaikkea kriteereiden tulee olla tehokkaita, mikä tarkoittaa, että niiden pitäisi olla helppokäyttöisiä, saatavilla olevaan informaation perustuvia sekä erotelukykyisiä – eli niiden avulla hyvät projektit voidaan erottaa keskinkertaisista. (Cooper et al. 2002)

Vaikkakaan Pahl & Beitz (1990) eivät suoraan puhu Stage-Gate<sup>®</sup> -sta, on jo heidän teorioissaan nähtävissä selviä yhtymäkohtia malliin. Kriteereiden sijasta arvioinnin perustana esitetään käytettäväksi vaatimuslistaa, jossa vaaditut tavoitteet ja rajoitukset esitetään toivomuksina ja vaatimuksina. Käytettyjen termien taustalla on kuitenkin vastaava logiikka kuin edellä ehdottomien ja suositeltavien kriteerien kohdalla. Vaatimukset ovat niitä, jotka on täytettävä kaikissa oloissa, ja joiden täyttämättä jättäminen aiheuttaa ratkaisun hylkäämisen. Toivomukset vastaavat aiemmassa esitettyjä suositeltavia kriteerejä. (Pahl & Beitz 1990)

”Porttivahdit” ovat usein korkean tason johtajia, jotka ohjailevat raha- ja henkilöstöresurssien käyttöä, joita vaaditaan tuotekehitysprojektien eteenpäin saattamisessa. Porttivahtien ja tuotekehitysprojektiin osallistuvien pitäisi olla eri henkilöitä, sillä projektin parissa työskentelevät eivät välttämättä pysty enää objektiivisiin päätöksiin. Jatkamistai lopettamispäätökset pitäisi tehdä poikkifunktionaalisen ryhmän toimesta yksittäisen henkilön sijaan. (Schmidt 2005)

Portfolion hallinnan lisäämisellä porttipäätöksiin porteista tulee kaksivaiheisia (katso kuva 16). Ensimmäisessä vaiheessa tehdään päätös projektin jatkamisesta suhteessa projektin ominaisuuksiin. Päätös tässä vaiheessa ei ole niinkään jatka -päätös, vaan siirrä eteenpäin -päätös, toisaalta kielteinen päätös tappaa projektin etenemisen. Toisessa vaiheessa käsiteltävää projektia verrataan muihin projekteihin sekä mietitään sen suhdetta kokonaisportfolioon. Mikäli projektille näytetään tässä vaiheessa vihreää valoa, projektista tulee aktiivinen ja sille annetaan tarvittavat resurssit. Muutoin sille annetaan pidä hallussa -päätös, mikä tarkoittaa sitä, että projekti jää odottamaan hetkeä, jolloin sen toteuttamiselle voisi olla otollisempi hetki. Tämän kaksivaiheisen porttipäätösprosessin avulla yritykset rakentavat portfolion hallintaa tuotekehityksen prosesseihin. (Cooper et al. 2002)



**Kuva 16.** Kaksivaiheinen portti (Cooper et al. 2002)

Stage-Gate<sup>®</sup> -prosessi on tehokas työkalu inkrementaalisen tuotekehitysprosessin nopeuttamiseksi. Sen sijaan se ei sovellu sellaisenaan käytettäväksi tuotealustojen ja läpimurtotuotteiden kehittämisessä. (Koen 2005) Liikkuvien työkonoiden valmistamiseen liittyvissä hankkeissa tuotekehitys on tyypillisesti suurimmaksi osaksi inkrementaalista. Näin ollen Stage-Gate<sup>®</sup> näyttäisi sopivan erinomaisesti yhdeksi lähtökohdaksi tässä työssä kehitettävään toimintamalliin. Samaa lähtökohdan valintaa tukee myös Stage-Gate<sup>®</sup> -prosessin ja sen johdannaisten yleisyys yritysten jo käytössä olevissa prosessimalleissa, tällöin Stage-Gate<sup>®</sup> -mallin pohjalle rakennettu toimintamalli on helpommin implementoitavissa osaksi yritysten nykyisiä tuotekehitysprosesseja.

## 2.5 Riskianalyyseistä

PK-RH<sup>®</sup> - Pk-yritysten riskienhallinta -sivustolla on esitetty yleisiä kaikkiin riskianalyysihin liittyviä periaatteita. Sivustolla on mainittu kaikkiaan 13 tällaista yleisperiaatetta. Esitettyjen periaatteiden mukaisesti pitäisi tehdä erilaisia toisiaan täydentäviä analyysiejä siten, että niillä katetaan mahdollisimman laajasti koko riskikenttä. Analyysit on syytä tehdä ryhmätyöskentelynä, jolloin voidaan hyödyntää usean eri ihmisen tietämystä, ja saada erilaisia näkökulmia tarkasteltavasta kohteesta. Riskianalyysimenetelmän tuntemus on varmistettava ottamalla analyysityöryhmän vetäjäksi henkilö, joka varmasti hallitsee käytettävän analyysin sekä palaverikäytännöt. Tarkasteltava kohde on pilkottava ja rajattava sellaisiin osiin, että yksi osa voidaan käsitellä kokonaisuudessaan yhdellä kertaa. Riskianalyysien aikatauluttaminen on tärkeää ja analyysien tekemiseen sekä itse analyysi-istuntoon on syytä valmistautua kunnolla. (VTT 2009)

Analyysien tekemiseen osallistuvien motivaatiota lisää se, että niitä tekemällä on mahdollista oppia tarkasteltavan järjestelmän toimintaa aiempaa paremmin. On erittäin tärkeää, että kaikilla analyysin tekemiseen osallistuvilla on yhteinen käsitys tarkasteltavasta kohteesta. Riskien tunnistamisessa on tärkeää painottaa, että on tarkoitus etsiä riskejä, ei syyllisiä. Riskien tunnistamisen yhteydessä on välttämätöntä olla avoimia, löydökset on pystyttävä dokumentoimaan sellaisina kuin ne todellisuudessa ovat, eivätkä sellaisina kuin niiden haluttaisiin olevan. Riskien joukosta on kyettävä tunnistamaan ne, jotka ovat merkittäviä. Riskit on siis priorisoitava esittämällä kullekin riskille suuruus. Dokumentoinnin merkitys riskianalyysijä tehtäessä on suuri. Dokumentointi pitää tehdä niin tarkasti, että sen perusteella todettuihin asioihin voidaan palata myöhemmin. Pelkkä riskien tunnistaminen ja niiden analysoiminen ei riitä, vaan on päätettävä ne toimenpiteet, joilla riskejä tullaan hallitsemaan. Lisäksi on mietittävä sitä, miten tehtyjen toimenpiteiden vaikutuksia seurataan. Analyysit pitää päivittää tarpeen mukaan. (VTT 2009)

Riskin arviointi sisältää riskien tunnistamisen, riskianalyysit sekä riskien merkityksen arvioinnin (ISO-31000 2009). Riskin arvioinnissa tulee määrittää riskianalyysin rajaus, tunnistaa vaarat, arvioida riskin suuruus, tehdä päätökset riskin siedettävyydestä sekä analysoida vaihtoehdot. Riskianalyyseilla on SFS-IEC 60300-3-9 standardin mukaan tarkoitus vastata kolmeen kysymykseen, jotka ovat:

- Mikä voi mennä väärin (vaarojen tunnistaminen)?
- Miten todennäköisesti tämä voi tapahtua (taajuusanalyysi)?
- Mitä ovat seuraukset (seurausanalyysi)? (SFS-IEC 60300-3-9 2000)

Analyysit voidaan tehdä joko kvalitatiivisesti tai kvantitatiivisesti. Kvalitatiivisessa tarkastelussa tulokset perustuvat analyysiryhmän subjektiivisiin näkemyksiin, sen sijaan kvantitatiivisissa menetelmissä sovelletaan matemaattista lähestymistapaa ja pyritään yksiselitteisiin tuloksiin. Siirryttäessä kvalitatiivisesta lähestymistavasta kvantitatiiviseen, pyritään siirtymään samalla subjektiivisuudesta objektiivisuuteen. (Salmikuukka 1999, s. 13)

Kvalitatiivisten analyysien tekeminen on yleensä nopeampaa, eikä vaadi tuekseen yhtä tarkkaa ja jäsenneltyä käyttövarmuusdataa kuin kvantitatiivinen. Toisaalta kvantitatiivisilla analyyseilla saadaan tarkempia ja yksiselitteisempiä tuloksia. Tarkasti määritetyillä ja valituilla kvantitatiivisilla analyyseilla tulokset eivät ole niitä tekevistä henkilöistä riippuvaisia toisin kuin kvalitatiiviset. Jälkimmäisten lopputuloksiin vaikuttavat aina analyysin tekijöiden omat näkemykset, asenteet, intressit ja ennakkokäsitykset. (Salmikuukka 1999, s. 13)

Seuraavissa alaluvuissa on esitetty lyhyesti työssä luotavan mallin kannalta relevantteja analyysitekniikoita. Nämä tekniikat on valittu siten, että ne mahdollisimman hyvin tuki-

sivat tuotekehityksen alkupäässä tehtäviä päätöksiä ja mahdollistaisivat käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallitsemisen jo tuotteen elinkaaren alkuvaiheissa, jolloin saatavilla olevat tiedot ovat vielä varsin karkealla tasolla. Analyysijä valittaessa on otettu huomioon paitsi kohteesta saatavilla olevan tiedon määrä ja laatu, myös tarkasteltavan kohteen piirteet. Valituilla analyysimenetelmillä on tarkoitus kattaa mahdollisimman laajasti ihminen-kone -vuorovaikutuskenttä. Analyyseistä saatavat tulokset tukevat myöhemmissä vaiheissa suoritettavia yksityiskohtaisempia analyysijä.

### **2.5.1 Alustava vaara-analyysi (PHA)**

Alustava vaara-analyysi laaditaan usein projektin aikaisessa vaiheessa, jolloin suunnitellun yksityiskohdista on saatavilla vielä vähän tietoa. Alustavan vaara-analyysin avulla pyritään tunnistamaan tarkasteltavalle järjestelmälle mahdollisesti vahinkoa aiheuttavat vaarat, vaaralliset tilanteet ja tapahtumat. Analyysissä tarkastellaan muun muassa materiaaleja, laitteistoja, toimintaympäristöä sekä järjestelmän osien keskinäisiä riippuvuuksia. Näiden tarkastelujen pohjalta muodostetaan luettelo systeemiin kohdistuvista vaaroista ja vaarallisista tilanteista. (SFS-IEC 60300-3-9 2000)

Alustavan vaara-analyysin avulla riskejä voidaan tarkastella erittäin varhaisissa systeemin elinkaaren vaiheissa. PHA:ta voidaan tehdä varsin rajoitetuilla tiedoilla. Toisaalta alustava vaara-analyysi ei anna kaiken kattavaa ja yksityiskohtaista tietoa riskeistä tai niiden torjunnan parhaista keinoista. (IEC/ISO 31010 2009) Esimerkki analyysin teossa käytettävästä lomakkeesta on esitetty liitteessä 2.

### **2.5.2 Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA)**

Vika- ja vaikutusanalyysi tehdään yleensä kvalitatiivisesti, joskin se voidaan myös kvantifioida. Analyysin peruskysymyksenä voidaan pitää ”mitä tapahtuu, jos...?” -kysymystä. VVA:ssa tarkastellaan järjestelmällisesti järjestelmän kunkin pääosan tai komponentin vikamuotoja sekä vikamuotojen vaikutusta järjestelmälle. Tulokset dokumentoidaan tyypillisesti taulukkomuotoon (esimerkki liitteessä 3), jolloin ne ovat helposti luettavissa. Menetelmän avulla tarkastellaan kunkin järjestelmän osan vikamuotojen seurauksia yksitellen ja tulokset ovat todennettavissa toisen järjestelmän tuntevan henkilön toimesta. (SFS-IEC 60300-3-9 2000) Menetelmällä voidaan tunnistaa vaikutukset toimintavarmuuteen, turvallisuuteen, laite- ja tuotevahinkoihin, sekä ympäristöön.

VVA on laajennettavissa vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysiksi (VVKA), jolloin jokainen tunnistettu vikamuoto luokitellaan esiintymistodennäköisyyden ja seurausten vakavuuden yhdistelmänä. Sekä VVA että VVKA antavat tuloksia, joita voidaan käyttää muissa analyyseissä kuten esimerkiksi vikapuussa. (SFS-IEC 60300-3-9 2000)

### 2.5.3 Vikapuuanalyysi (VPA)

Vikapuuanalyysi voidaan tehdä sekä kvalitatiivisena että kvantitatiivisena. Menetelmän avulla kuvataan loogisesti tarkasteltavana olevan ei-toivotun tapahtuman realisoitumiseen johtavat olosuhteet ja tekijät. Tarkastelun edetessä yleisestä yksityiskohtaiseen (top-down), huomio kiinnittyy suoraan huipputapahtumaan liittyviin vioittumisen vaikutuksiin. (SFS-IEC 60300-3-9 2000)

Vikapuu rakentuu huipputapahtumasta, tapahtumista ja perustapahtumista. Näitä erilaisia tapahtumia yhdistävät loogiset portit. Portteja on kahta mallia; JA-portilla tapahtuma esiintyy vain, jos kaikki sisääntulotapahtumat esiintyvät samanaikaisesti, vastaavasti TAI-portilla tapahtuma esiintyy, jos jokin sisääntulotapahtumista esiintyy yksin tai yhdessä muiden kanssa.

Vikapuu rakennetaan siten, että ensimmäisenä valitaan tarkasteltava huipputapahtuma, tämän jälkeen määritellään huipputapahtumaan johtavat ensisijaiset syyt ja niiden riippuvuudet, seuraavaksi järjestelmä ositetaan niin pieniin tapahtumiin, ettei niitä enää voida tai haluta jakaa pienempiin osiin. Näitä alimman tason tapahtumia kutsutaan perustapahtumiksi. Puun eri tasojen tapahtumat yhdistetään toisiinsa loogisten porttien avulla. Tämän jälkeen puu antaa kvalitatiivisen kuvan puun tapahtumien välisistä yhteyksistä. Edellä esitetty kvalitatiivinen tarkastelu toimii lähtökohtana kvantitatiivisen analyysin tekemiselle. Kvantitatiivisessa analyysissä määritetään kullekin perustapahtumalle esiintymistodennäköisyydet, ja lopulta lasketaan huipputapahtuman todennäköisyys lähtien liikkeelle perustapahtumien todennäköisyyksistä, eli ratkaistaan puu.

### 2.5.4 Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA)

Potentiaalisten ongelmien analyysin avulla voidaan nopeasti selvittää järjestelmään liittyviä onnettomuusvaaroja. Analyysiä tehtäessä mitään ongelmatyyppiä ei rajata etukäteen tarkastelun ulkopuolelle, mikä mahdollistaa erityyppisten ja -tasoisten ongelmien löytämisen. Toisaalta menetelmän avulla ei pystytä kattamaan järjestelmällisesti ongelma-alueita. Niinpä tämä analyysi soveltuu parhaiten järjestelmään liittyvien vaarojen tunnistamiseen. (VTT 2005a)

Potentiaalisten ongelmien analyysi kostuu useasta eri vaiheesta. Näitä vaiheita ovat häiriöiden ja vaarojen tunnistaminen aivoriihessä, häiriöiden ja vaarojen arviointi, toimenpide-ehdotusten kehittäminen sekä analyysin raportointi. Varsinainen analyysi tehdään kahdessa osassa. Ensimmäiseksi aivoriihimenetelmin kerätään mahdollisia ongelmia ja vaaroja. Tämän jälkeen ideat järjestellään ja luokitellaan. Toisessa vaiheessa tarkastellaan yksityiskohtaisemmin edellisessä vaiheessa jatkotoimenpiteitä vaativiksi todettuja vaaroja. (VTT 2005a)

Ensimmäisessä vaiheessa ideoita syntyy paljon. Tällöin niitä on jollakin tavalla luokiteltava. Ideoiden luokittelussa voidaan käyttää esimerkiksi seuraavanlaista jakoa:

- Jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat
- ”Vanhat” ja luotettavasti hoidossa olevat vaarat
- Vailla käytännön merkitystä olevat, ”mielikuvitusvaarat”, iäisyysongelmat, joille ei mahda mitään ja pienet vaarat.

Lajiteltaessa ideoita, on hyvä ottaa huomioon, että myös erittäin epätodennäköisiä vaaroja tulee arvioida, sillä mahdottomilta tuntuvilla asioilla on ikävä taipumus toteutua. Myös ne vaarat, joita ei luokitella jatkokäsittelyä tarvitseviksi, tulee dokumentoida. (VTT 2005a)

Jatkokäsittelyyn valitut vaarat käydään uudelleen läpi analyysityöryhmässä. Analyysin tulokset kirjataan lomakkeelle (liite 1), jossa on sarakkeet vaaraa, sen syytä, varautumista, seurauksia, riskilukua ja toimenpide-ehdotuksia varten. Vaarojen syiden ja seurausten tunnistamisen jälkeen voidaan kullekin vaaralle määrittää riskiluku. Riskin suuruus määritetään seurausten vakavuuden ja esiintymistodennäköisyyden perusteella. (VTT 2005a)

### **2.5.5 Ihmisen luotettavuusanalyysi (HRA)**

Ihmisen luotettavuusanalyysiä käytetään arvioimaan inhimillisten virheiden vaikutusta järjestelmän turvallisuuteen ja tuottavuuteen. Analyysin avulla tarkastellaan käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön vaikutuksia järjestelmään. HRAn avulla on tarkoitus myös löytää niin sanottuja toipumismalleja, eli keinoja korjata jo syntyneet virheet. (SFS-IEC 60300-3-9 2000)

Standardin SFS-IEC 60300-3-9 mukaan HRA sisältää esimerkiksi seuraavat vaiheet: tehtäväänalyysi, ihmisen virheiden tunnistaminen, sekä ihmisen luotettavuuden kvantifiointi. Näistä tehtäväänalyysi ja virheiden tunnistaminen pitäisi aloittaa jo tuotekehityksen varhaisessa vaiheessa. Tehtäviä analysoitaessa on tarkoituksena kuvata riittävän yksityiskohtaisesti analysoitava tehtävä, jotta sen perusteella voitaisiin tunnistaa ihmisen virhemahdollisuudet ja myöhemmin kvantifioida ihmisen luotettavuutta. Lisäksi tehtäväänalyysissä on syytä pohtia työtehtävien jakamista kone-käyttäjä -akselilla, on siis pohdittava, olisiko jonkin toiminnon suorittaminen soveltuvampaa koneelle kuin ihmiselle tai päinvastoin. Ihmisen virheiden tunnistamisen tavoitteena on tunnistaa mahdolliset virheelliset toiminnot tehtävän suorittamisessa, niiden seuraukset sekä keinot virheiden todennäköisyyden pienentämiseksi.

### **2.5.6 Työn turvallisuusanalyysi**

Työn turvallisuusanalyysi on menetelmä, jonka tavoitteena on työturvallisuuden parantaminen tapaturmavaaroja etsimällä. Analyysin käyttö perustuu työsuoritusten tutkimiseen järjestelmällisesti. Menetelmää käytettäessä työsuoritus jaetaan pienempiin osasuoritteisiin, joihin liittyviä vaaroja ja syitä tutkimalla suunnitellaan toimenpiteet vaarojen



poistamiseksi tai vähentämiseksi. Työn turvallisuusanalyysillä voidaan tunnistaa hyvin esimerkiksi toistuviin huolto- ja kunnossapitotehtäviin liittyviä vaaroja. (VTT 2005b)

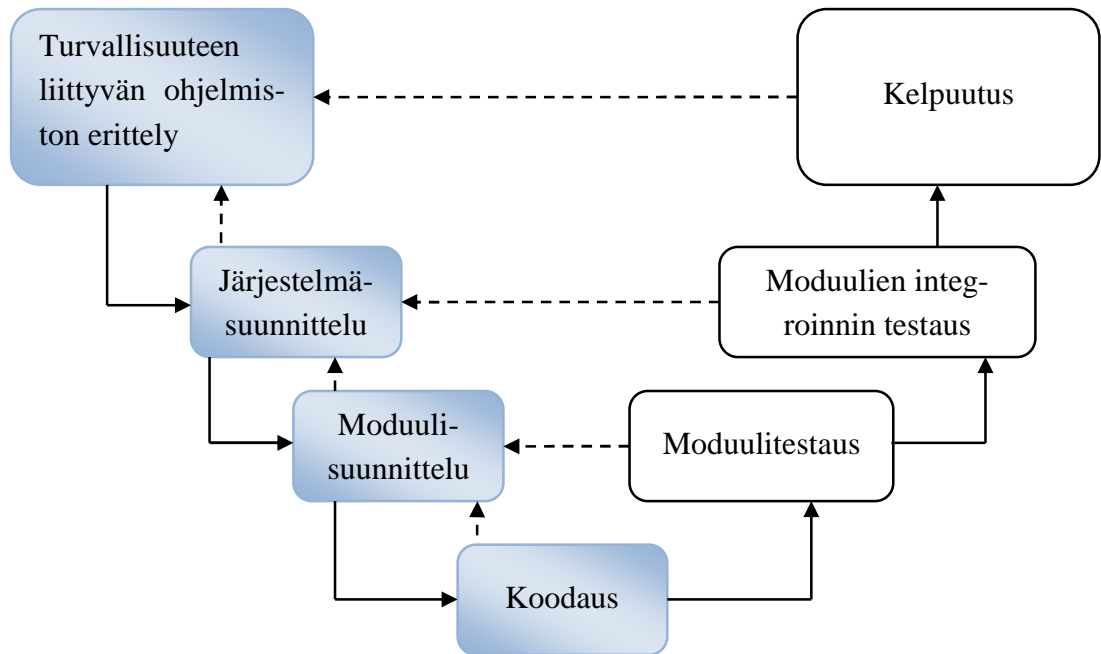
Työn turvallisuusanalyysin käyttöä ja sillä saatavien tulosten hyödyntämistä suositellaan tämän työn aihepiiriin liittyen muun muassa tehtäessä muutoksia koneiden turvallistamiseksi ja vastaavan uuden koneen suunnittelussa. Analyysin avulla saadaan selville niin koneisiin ja laitteisiin, työsuorituksiin kuin ympäristöön liittyvät ja niiden aiheuttamat vaarat. Analyysiä suositellaan tehtäväksi työryhmätyöskentelynä. (VTT 2005b) Esimerkki TTA -lomakkeesta on annettu liitteessä 4.

### **2.5.7 Tarkistuslistat**

Erilaisia muistilistoja voidaan käyttää tunnistamaan tyypillisiä vaaroja. Tarkistuslistat voivat toimia joko omina kokonaisuuksinaan tai osana esimerkiksi jotain edellä esiteltyä analyysiä. Muistilistoja on helppo käyttää ja täydentää. Listoihin voidaan helposti lisätä tarkastettavia asioita esimerkiksi vastaavien tuotteiden elinkaaren aikana havaittujen ongelmien pohjalta. Listojen avulla on helppo tarkastella, onko aiemmissa kohteissa havaitut ongelmat otettu huomioon meneillään olevaa tuotetta suunniteltaessa. IEC 31010 -standardin (2009) mukaan tarkistuslistoja voidaan käyttää kaikissa eri elinkaaren vaiheissa joko osana muita riskinarviointitekniikoita tai tarkastelemaan, että kaikki osa-alueet on katettu muilla riskinarviointitekniikoilla.

## **2.6 Testauksen V-malli**

Ohjelmistosuunnittelussa käytetään yleisesti niin sanottua V-mallia testausprosessin mallintamiseen. V-mallia on sovellettu esimerkiksi standardissa SFS-EN ISO 13849-1 ”Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat.” Standardissa on kuvattu ohjelmiston turvallisuuselinkaaren yksinkertaistettu V-malli. Tämä malli on esitetty kuvassa 17.



**Kuva 17.** Yksinkertaistettu turvallisuuselinkaareen liittyvä V-malli (muokattu lähteestä SFS-EN ISO 13849-1 2008)

Malli ei sinällään testauksen osalta juurikaan liity diplomityön aiheeseen, mutta mallissa vasemmalla esitettyjen ohjelmiston kehityksen vaiheiden ja fyysisten tuotteiden tuotekehityksen alkupään välillä on nähtävissä yhteys. Myös fyysisiä laitteita suunniteltaessa voisi olla järkevää pohtia ensin konsepteja järjestelmätasolla ja tämän jälkeen tarkentaa suunnittelua osajärjestelmätasolle. Näin ollen mallissa esitetty järjestelmäsuunnittelu vastaisi fyysisten tuotteiden maailmassa järjestelmätason suunnittelua, moduulisuunnittelu edustaisi osajärjestelmätason suunnittelua, ja koodaus varsinaista toteuttamista.

## 2.7 Työn teoreettinen viitekehys

Tämän diplomityön teoreettisen viitekehyksen rakentamisessa oleellista on käyttövarmuuden ja sen osa-alueiden määrittäminen ja osa-alueiden välisten suhteiden ymmärtäminen. Suunniteltaessa kunnossapidettäviä laitteita, kuten työkoneita, on käyttövarmuuden suunnittelussa jo tuotekehityksen alkuvaiheissa kiinnitettävä huomiota sekä toimintavarmuuteen että kunnossapidollisiin seikkoihin.

RAMS -hallintamallissa on otettava huomioon yritysten liiketoiminnassa käynnissä oleva muutosprosessi, jossa yhä enenevässä määrin myös konkreettisella tasolla ollaan siirtymässä kohti palveluliiketoiminnan malleja. RAMS -näkökohtien käsitteleminen tässä kontekstissa on varsin perusteltua, sillä sen osa-alueiden järjestelmällisellä hallinnalla voidaan aiempaa luotettavammin ennustaa toimitettavan laitteen koko elinkaaren aikaisia kustannuksia.

Niin käyttövarmuuden kuin turvallisuudenkin osalta tärkeimmät päätökset tulee tehdä tuotekehityksen alkuvaiheessa, jolloin niiden tekeminen on sekä helppoa että edullista verrattuna myöhemmin tehtäviin muutoksiin. Näin ollen luotavan mallin tulee antaa edellytykset RAMS -hallinnan tehokkaalle toteuttamiselle mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Kirjallisuudessa on esitetty erilaisia tuotekehityksen ja sen alkupään prosessikuvauksia, joissa alkupää on pyritty jakamaan helpommin ymmärrettäviin ja ohjattaviin osavaiheisiin. Tässä työssä luotavassa RAMS -hallintamallissa vaiheiden jako perustuu pitkälti Koen et al. (2001) ja Ulrich & Eppinger (2004) esittämiin malleihin, lisäksi esitellyistä RAMS -hallintaan liittyvistä malleista on otettu vaikutteita vaiheistukseen. Myös erityisesti ohjelmistopuolella käytössä olevan testauksen V-mallin huomioima näkemys järjestelmätason ja moduulitasoisen suunnittelun eriyttämisestä on otettu huomioon vaiheistuksessa.

Tuotekehitys nähdään kirjallisuudessa varsin yksiselitteisesti karsivana prosessina, joka on jaettavissa erilaisiin vaiheisiin ja vaiheiden välissä sijaitseviin päätöksentekopisteisiin. Vaiheiden samoin kuin päätöksentekopisteiden nimeämisessä on eroja eri lähteiden välillä. Kuitenkaan mitään ristiriitaisuutta ei varsinaisesti ole olemassa, vaan enemmänkin kyse on kunkin tekijän tai tekijöiden valitsemasta, vaiheiden jaon tarkkuudesta sekä valitusta termistöstä. Kaiken kaikkiaan kirjallisuudessa esitetyt teoriat tuotekehitysprosesseista ovat varsin yhtenäisiä. Tässä työssä vaiheiden ja päätöksentekopisteiden esittäminen pohjautuu Cooperin esittämään Stage-Gate<sup>®</sup> -malliin.

Stage-Gate<sup>®</sup> -mallin eräs hyvä ominaisuus yritysten sisällä on se, että sen avulla voidaan avoimesti esittää ne vaatimukset, joihin tuotetta kullakin portilla verrataan. Tämä johtaa siihen, että tuotekehityksessä ollaan tietoisia asetetuista vaatimuksista, ja toisaalta tuotekehityksen edetessä osataan kiinnittää huomiota tuotteen oikeisiin vaatimuksiin. Stage-Gate<sup>®</sup> -prosessi luo läpinäkyvyyttä projektien läpimenoon. Tämä kuitenkin edellyttää, että käytettävät kriteerit osataan ja halutaan määritellä riittävän selkeästi. Porteilla tehtäviä arviointeja ei voi suorittaa yksiulotteisesti, vaan niissä on otettava huomioon monia eri ulottuvuuksia. Ei ole järkevää esimerkiksi peilata projektin hyvyttä vain sen markkinapotentiaaliin, jos on selvää, ettei projektin toteuttaminen ole teknisesti mahdollista nykyisellä teknologialla. Tällöin on parempi siirtää projekti odottamaan tekniikan kehittymistä tai muutoin parempaa hetkeä.

Teoriaosuudessa esitetyt riskianalyysimenetelmät ovat esimerkkejä laajasta joukosta erilaisia analyysimenetelmiä. Työssä käsitellyt menetelmät on valittu siten, että ne mahdollisimman hyvin vastaisivat niihin haasteisiin, joita kohdataan tuotekehitysprosessin alkupäässä. Valituilla menetelmillä on mahdollista kattaa laajasti ihminen-kone -vuorovaikutuksessa esiintyviä erilaisia riskejä. Analyysimenetelmien joukossa on sekä koneen että inhimillisestä näkökulmasta riskejä tarkastelevia menetelmiä. Menetelmien

valinnassa on otettava huomioon kulloinkin tarkasteltavana olevasta kohteesta saatavilla olevan tiedon määrä ja taso.

### 3 AINEISTO JA TYÖVAIHEET

Diplomityön empiirinen aineisto on hankittu kolmen eri haastattelukierroksen kautta. Teoreettinen viitekehys on rakennettu tutustumalla aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen ja tehtyihin tutkimuksiin. Työn vaiheet noudattelevat konstruktiiviselle tutkimukselle ominaisia vaiheita.

#### 3.1 Yrityshaastattelut

Yrityksiin suunnattuja kyselyitä tehtiin tämän hankkeen osalta kolmessa eri vaiheessa. Ensimmäinen niin sanottu esiselvitysvaihe suoritettiin vuoden 2010 alkupuolella insinööritoimisto Comatec Oy:n toimesta. Tässä esiselvityksessä haastattelut käytiin paikan päällä yrityksissä. Haastateltuja yrityksiä oli yhteensä kahdeksan, ne edustavat työ-konealaa eri näkökulmista.

Web-kysely toteutettiin lähettämällä kysely 15:lle liikkuvien työkonoiden parissa toimivan yrityksen edustajalle. Heidän tehtävänä oli suunnata kysely oman yrityksensä sisällä siten, että vastaajajoukoksi saataisiin mahdollisimman kattava otanta yrityksen eri näkemyksiä käyttövarmuuden hallinnan tilasta ja tarpeista. Web-kysely tehtiin joulukuun 2010 ja tammikuun 2011 välisenä aikana.

Varsinaiset projektiin liittyvät yrityshaastattelut tehtiin alkuvuodesta 2011 yrityksissä, jotka valittiin web-kyselyssä saatujen tietojen perusteella kiinnostavimmiksi haastateltaviksi. Haastatteluissa syvennettiin niitä tietoja, jotka nousivat web-haastatteluissa esille.

Näiden kolmen haastattelukierroksen materiaaleista on koottu yritysten näkökulmasta merkittävimpien käyttövarmuuteen liittyvien pullonkaulojen aiheuttajat sekä muita diplomityön tekemisen kannalta olennaisia huomioita. Haastatteluissa tunnistetut pullonkaulat toimivat tämän työn keskiössä olevan mallin kehittämisen lähtökohtina. Näihin pullonkauloihin on tässä työssä pyritty vastaamaan sikäli kun niiden voidaan olettaa olevan lähtöisin tuotekehityksen alkupäässä aiheutuneista virheistä tai puutteista.

#### 3.2 Kirjallisuus

Kirjallisuuden avulla tutustuttiin erilaisiin tuotteen kehitysprosessien kuvauksiin ja erityisesti keskityttiin konseptivaiheen ja innovoinnin alkupään erilaisiin tulkintoihin ja määriteltiin, millaisia rajoituksia konseptisuunnittelun ja innovoinnin alkupään suhteen

on eri lähteissä tehty. Käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallintaan liittyvät seikat muodostivat toisen merkittävän näkökulman kirjallisuuskatsauksessa.

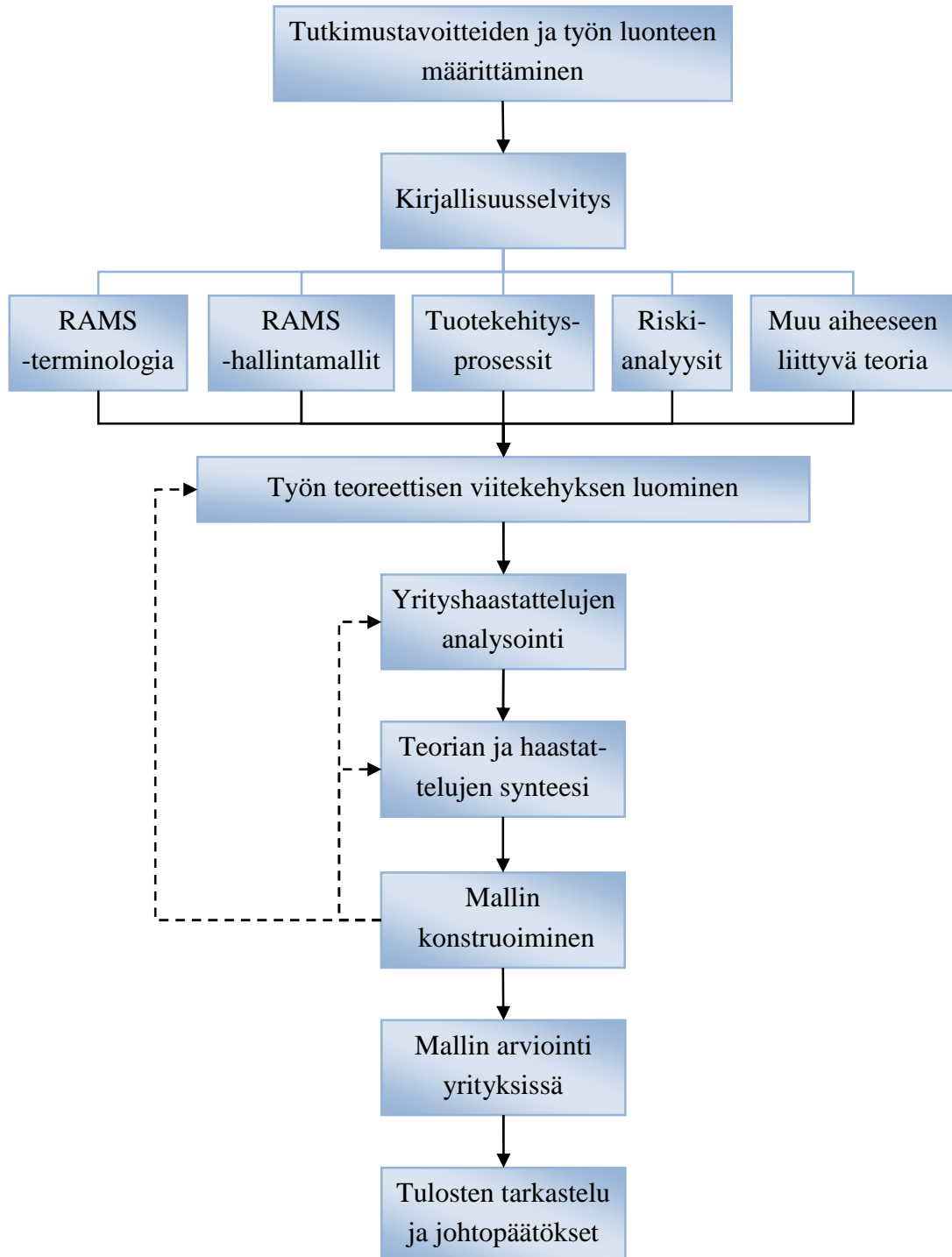
Kirjallisuuteen tutustumisen lähtökohtana oli aloittaa teoksista, joita voidaan pitää tuotekehitysprosessien perusteoksina, tällainen on esimerkiksi Ulrich & Eppinger: Product design and development. Työn teoriaosuuden kirjoittamisessa käytettiin apuna myös lukuisia eri standardeja. Standardien avulla määriteltiin ensinnä käyttövarmuuteen liittyvää termistöä, sekä pyrittiin löytämään niissä esitetyjä toimenpiteitä RAMS -näkökohtien hallintaan liittyen. Standardien avulla on yleisesti ottaen turvallista määritellä sekä termejä että vakiintuneita toimintatapoja. Näiden käsitteiden, määritelmien ja kuvausten voidaan olettaa olevan jokseenkin vakiintuneita tai ainakin yleisesti hyväksyttyjä.

Lähteinä työssä käytettiin kirjojen ja standardien lisäksi tieteellisiä artikkeleita, joita haettiin VTT:n e-kirjaston kautta erilaisista tietokannoista. Lisäksi avoimesta internetistä haettiin jonkin verran artikkeleita käyttäen apuna erityisesti Google Scholar -hakupalvelua.

Kirjallisuusselvityksellä pyrittiin myös saavuttamaan näkemys siitä, millaisia RAMS -hallinnan keinoja erilaiset standardit ja käsikirjat tarjoavat tuotteen suunnittelun alkupään vaiheisiin. Erilaisia käytäntöjä löytyikin useista eri lähteistä, näiden perusteella on ollut helpompaa luoda sekä itselle että työille kokonaiskuva siitä maailmasta, jonka parissa diplomityössä liikutaan.

### **3.3 Työn vaiheet**

Kuten jo diplomityön johdannossa todettiin, on tämä työ määriteltävissä pitkälti konstruktiivisiksi tutkimukseksi. Niinpä työn etenemisessä on seurailtu konstruktiiviselle tutkimukselle ominaisia vaiheita. Tutkimuksen etenemistä on esitetty kuvassa 18.



**Kuva 18.** Diplomityön vaiheet.

Diplomityön tekeminen alkoi varsinaisesti syksyllä 2010 tutkimustavoitteiden asettamisella ja työn luonteen määrittämisellä. Työn tavoite oli tosin määritelty jossakin määrin jo aiemmin RelSteps -hankkeen sisällä. Tavoitetta kirkastettiin ja terävöitettiin diplomityön tilaajan VTT:n edustajien kanssa käydyissä keskusteluissa. Diplomityön varhaisessa vaiheessa päädyttiin siihen, että kyseessä on ainakin jossain määrin konstruktivinen tutkimus. Tämä tutkimusotteen määrittelemineen auttoi hahmottamaan työn tekemiseksi

tarvittavia osatehtäviä, ja antoi työlle jokseenkin selkeän etenemissuunnitelman. Samanaikaisesti tavoitteiden asettamisen ja tutkimusotteen hahmottamisen kanssa tehtiin työn aihealueen rajausta. Tämä rajausta, samoin kuin työn lopulliset tavoitteet, tai pikemminkin niiden muoto, tarkentuivat työn etenemisen aikana. Esiselvitykseen tutustuminen ja siihen liittyvän haastatteluyhteenvedon läpikäynti ja jäsentely diplomityön näkökulmasta selkeytti näkemystä työn osuudesta koko RelSteps -projektissa.

Seuraavana vaiheena oli aiheeseen liittyvään aiemmin tehtyyn tutkimukseen tutustuminen ja tarvittavan taustateorian kokonaisuuksien hahmottaminen. Teoriaa hahmoteltaessa kävi varsin nopeasti selväksi, että työn kannalta on tunnistettavissa selvät pääelementit, joiden suunnalta ratkaistavaa ongelmaa pitäisi lähestyä. Ensinnäkin olisi syytä selvittää, mitä RAMS -termin sisälle kätkeytyy, ja miten nämä asiat liittyvät tuotekehityksessä tehtäviin päätöksiin. Toisena suurena kokonaisuutena nousi esille erilaisten tuotekehityssoppien perusideoiden käsittely. Tuotekehityksen ja siihen liittyvän innovoinnin alkupään vaiheiden hahmottaminen ja niiden hallinnan keinot nousivat keskiöön tätä aihetta tutkittaessa. Jo olemassa olevien RAMS -hallintamallien tunnistaminen ja niiden sisältöön tutustuminen oli myös yksi keskeisistä kirjallisuusselvityksen vaiheista. Lisäksi oli tutustuttava erilaisiin riskianalyysihin ja niiden toteuttamistapoihin. Edellä esitettyjen teoriakokonaisuuksien rinnalla tutustuttiin myös erinäisiin pienempiin kirjallisuudessa esiintyneisiin työn kannalta olennaisiin asioihin. Kirjallisuusselvityksen pohjalta luotiin näkemys siitä teoreettisesta viitekehyksestä, jonka pohjalle konstruoitava malli olisi syytä rakentaa.

Diplomityön taustalla olevan RelSteps -hankkeen osana tehtiin yrityshaastatteluja kolmessa osassa. Ensimmäiset haastattelut tehtiin jo mainitussa hankkeen esiselvityksessä. Toisessa vaiheessa haastattelut tehtiin web-kyselynä ja viimeinen haastattelukierros käytiin perinteisinä yrityshaastatteluina. Haastattelumateriaalin läpikäymisellä pyrittiin määrittämään käyttövarmuuteen vaikuttavia pullonkauloja, sekä muita seikkoja, joita tulisi ottaa huomioon luotavan mallin tekemisessä.

Kun sekä teoreettinen että empiirinen aineisto oli käsitelty, luotiin niistä ajatustasoinen synteesi, jonka pohjalta lähdettiin tekemään varsinaista mallia. Toimintamallin luominen oli varsin vahvasti iteratiivinen prosessi, jonka aikana lisääntyneen tiedon ja yrityksiltä haastattelujen kautta saatujen signaalien avulla malli koki useita erilaisia muodonmuutoksia. Myös mallin painotus muuttui työn aikana vahvasti. Erityisesti RelSteps -hankkeen johtoryhmäkokouksessa pidetyn esityksen perusteella mallissa ja koko työssä keskityttiin alkuperäissuunnitelmaa vahvemmin käyttövarmuuspuoleen. Diplomityön ydintavoite ei sanottavasti muuttunut enää työn edetessä, mutta esimerkiksi painopiste siis siirtyi enemmän luotettavuuteen. Lisäksi alun perin oli ajatuksissa luoda vain kuvaus toimintamallista, mutta lopulta saatujen toiveiden ja ehdotusten pohjalta ratkaisu sisältää kolme erillistä, kuitenkin toisiinsa sidoksissa olevaa elementtiä.



Kehitetyn ratkaisun arvioimiseksi pyydettiin yrityksistä ja alan tutkijoilta kommentteja mallin toimivuudesta. Varsinaista testaamista ei tämän työn aikana ehditty tehdä, mutta mallin käytännön toimivuutta on tarkoitus testata myöhemmin RelSteps -hankkeen aikana. Viimeisenä vaiheena diplomityössä oli vetää johtopäätökset niin mallista kuin tehdystä tutkimuksestakin. Mallin osalta pohdittiin muun muassa sen sovellettavuuden laajuutta, implementoimiseen liittyviä haasteita ja mallin jatkokehittelyyn liittyviä seikkoja. Tutkimuksen osalta arvioitiin tutkimuksen onnistumista suhteessa asetettuihin tavoitteisiin, sekä tutkimuksessa savutettua akateemista lisäarvoa.

Eli lyhyesti sanottuna diplomityön tekeminen noudatti kaavaa, jossa ensin määriteltiin tutkimukseen liittyvät tarpeet, tutkimusote ja vastaavat seikat. Tämän jälkeen tutkittiin nykytilaa ja taustalla olevaa teoriaa sekä analysoitiin haastatteluaineistoja. Haastattelulöydösten ja teorian synteessinä muodostettiin toimintamalli käyttövarmuus- ja turvallisuusasioiden hallitsemiseksi tuotekehityksen alkuvaiheissa. Tämän jälkeen malli alistettiin testaukselle ja arvioinnille. Lopuksi tarkasteltiin tuloksia ja tehtiin johtopäätöksiä sekä malliin että tehtyyn tutkimukseen liittyen.

## 4 PÄÄHAVAINNOT HAASTATTELUISTA

Tähän lukuun on kerätty tehdyistä kolmesta eri haastattelukierroksesta esiin nousseita seikkoja, jotka ovat relevantteja diplomityössä luotavan RAMS -hallintamallin toteuttamisessa. Kustakin haastattelumateriaalista on pyritty nostamaan esille keskeisimmät seikat diplomityön osalta. On huomioitava, ettei haastatteluja oltu suunniteltu nimenomaisesti diplomityön, vaan koko RelSteps -hankkeen näkökulmasta.

### 4.1 Esiselvitys

Esiselvityksellä määritettiin yritysten tarpeita käyttövarmuuden suunnitteluun liittyvän tutkimuksen toteuttamiseksi. Yhtenä esiselvityksen kolmesta vaiheesta oli tietojen keruu FIMAn (Forum for Intelligent Machines ry.) jäsenyrityksiltä koskien käyttövarmuutta ja luotettavuutta kehittävien menetelmien tarpeista ja odotuksista suunnitteluprosessin aikana.

FIMAn jäsenyrityksille liikkuvien työkoneneiden ja niiden komponenttien käyttövarmuus on eräs kriittisistä menestystekijöistä. FIMAn Suunnittelu-teemaryhmässä on aiemmin noussut esille tarve lisätä käyttövarmuuden hallinnan osaamista jäsenyrityksissä.

Edellä mainittu tietojen kokoaminen suoritettiin haastatteleamalla kahdeksaa FIMAn jäsenyritystä tammi- helmikuussa 2010. Haastatteluihin osallistui yrityksistä yhteensä 25 alan asiantuntijaa. Tässä työssä haastattelujen tuloksia käsitellään yleisellä tasolla siten, ettei yksittäisiä yrityksiä mainita erikseen nimeltä.

Haastattelurunkona käytettiin alla olevaa listaa:

1. Käyttövarmuuden hallinta – tulevaisuuden haasteet
2. Asiakkaan vaatimusten kehitysnäkymät
3. Toimialan vaatimusten kehitysnäkymät
4. Vastuun jakautuminen ja sitoutus
5. Käyttövarmuuden hallinnan tavoite – miten käyttövarmuuteen liittyviä vaatimuksia hallitaan tulevaisuudessa
6. Yrityksen tarpeet, valmiudet ja tulevaisuuden tavoitteet, visio 5 – 10v, millä toimenpiteillä saavutettavissa?
7. Tutkimuksen kohdennus ja muita ehdotuksia toimenpiteiksi, mitä tavoitteita ja mitä pitää tehdä, jotta tavoitteet saavutetaan?
8. Muuta

Esiselvityksen perusteella yritykset pitävät käyttövarmuuden hallitsemista merkittävänä osana prosessejaan, tuotekehityksen osalta se nähdään jopa tärkeimpänä. Sen kehittämiseen haluttaisiin panostaa ja erityisen tärkeäksi nousee käyttövarmuusvaatimusten ymmärtäminen erityisesti suunnittelun alkuvaiheessa.

Haastattelujen pohjalta voidaan todeta, että yritykset odottavat huoltotoimintaan ja muihin oheispalveluihin liittyvän liiketoiminta-alueen kasvavan ja alan siirtyvän näin yhä enenevissä määrin kohti palveluliiketoimintaa. Täyshuoltosopimukset ja leasingit yleistyvät ja takuuajat pitenevät. Näiden mukana vaatimukset käyttövarmuudelle kasvavat jatkuvasti. Asiakkaat ovat myös aiempaa valmiimpia hyväksymään korkeammat huoltokustannukset käyttövarmuusvaatimusten kasvaessa ja koko elinkaaren aikana saavutettavien hyötyjen ja kustannusten suhteen merkitys tulee korostumaan tulevaisuudessa. Palveluliiketoiminnan kehittäminen kannattavuuden parantamiseksi nouseekin merkittäväksi tekijäksi. Tulevaisuudessa on nähtävissä, että yhä useammin asiakkaat haluavat pelkän koneen sijaan kokonaispalvelupaketin.

Asiakaskunnassa nähdään tulevaisuudessa tapahtuvan yhä enenevissä määrin kehittymistä aiempaa luotettavuus- ja laatu-tietoisemmiksi. Käyttövarmuutta koskevat asiakasvaatimukset muuttuvat yhä tiukemmiksi ja yksityiskohtaisemmiksi. Lisäksi vaatimukset yhdistetään aiempaa vahvemmin kustannustietoihin. Tulevaisuudessa laki edelleen määrittelee osan vaatimuksista, mutta loppukäyttäjä tulee olemaan se taho, joka asettaa pääosan vaatimuksista. Laitevalmistajien on vastattava muuttuviin vaatimuksiin muun muassa käyttövarmuustakuilla ja huoltopalvelulla. On nähtävissä, että yhä useammin jo tarjousvaiheessa otetaan huomioon laitteiden elinikä- ja luotettavuustietoja. Asiakasta ei enää kiinnosta varsinaisesti itse laite, vaan sen käytön kautta kehittyvä oman toiminnan tuottavuus. Toisaalta asiakkaiden vaatimukset ovat usein ristiriitaisia tai käyttötarkoitus huomioon ottaen turhan monimutkaisia.

Haastatteluissa nousi useassa kohdassa esille koko elinkaarta koskevan käyttövarmuuden ennustettavuus. Pelkällä koneen hankintahinnalla kilpailu vähenee ja päätökset tehdään kustannus-hyöty -ajattelun pohjalta. Tällöin koko elinkaarta koskevien kustannusten ja hyötyjen merkitys korostuu. Näihin tekijöihin voidaan vaikuttaa merkittävästi jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. Tuotteet on suunniteltava huoltovapaiksi tai helposti ja nopeasti huollettaviksi, ja lisäksi erilaiset poikkeamat pitäisi voida minimoida jo suunnittelun yhteydessä. Myös työn turvallisuuteen on kiinnitettävä aiempaa enemmän huomiota.

Eräänä haasteena haastatteluissa yrityksissä nähtiin saatavilla olevan käyttövarmuustiedon hyödyntäminen jo spesifikaatiovaiheessa. Hyvin määriteltyjen spesifikaatioiden avulla pitäisi pystyä kehittämään alusta asti oikein tehty kone, jolloin säästyttyisiin testauksessa esille tulevien vikojen korjaamisesta uudelleen suunnittelupöydällä. Tähän liittyen tavoitteeksi asetettiin käyttövarmuuden määrittelyn ja luotettavuuden suunnitte-

lun kehittäminen tuotekehitysvaiheessa. Käyttövarmuuden integroiminen osaksi tuotekehityksen toimintaprosessia koettiin myös tarpeelliseksi. Käyttövarmuusvaatimusten hallintaan ehdotettiin kehitettäväksi systemaattista menetelmää, joka integroituisi osaksi tuotekehitystiimien toimintaa.

Eräs merkittävä ongelma työkonevalmistajien kannalta on tietojen saatavuus asiakkailta. Usein valmistajalle välttämättömät tiedot koetaan asiakkaan kannalta liikesalaisuuksina, joita ei olla valmiita paljastamaan. Tällaisissa tapauksissa valmistajan kannalta ensiarvoisen tärkeää tietoa saattaa jäädä saamatta. Asiakas tulisikin saada houkutelluksi tiedon vaihtoon sellaisilla menetelmillä, joissa myös asiakas kokisi saavansa luovuttamilleen tiedoille vastinetta.

Jatkuvasti käytössä olevat koneet luovat oman haasteensa laitteiden suunnittelulle. Näiden laitteiden kohdalla on panostettava entistä enemmän kunnossapidon asettamiin vaatimuksiin. Tällöin esimerkiksi vaihto-osien suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota vaihdettavuuteen, huollettavuuteen sekä luoksepäästävyyteen.

Kaiken kaikkiaan haastatellut yritykset ovat valmiita panostamaan käyttövarmuuden kehittämishankkeisiin seuraavien vuosien aikana. Tähän halukkuuteen ovat vaikuttamassa erityisesti takuukustannusten nousu sekä käyttövarmuuden korostuminen kilpailutekijänä. Kestävän kehityksen painoarvon kasvaminen tulevaisuudessa on osaltaan vaikuttamassa käyttövarmuuden painoarvon lisääntymiseen. Vaikkakin joissain toimialan yrityksissä käyttövarmuuden hallintaa on jo mietitty, vaikuttaisi siltä, että suurimassa osassa yrityksiä selkeätä toimintatapaa käyttövarmuuden hallintaan ei ole olemassa. Niinpä erityisesti suunnitteluprosessin aikaista käyttövarmuuden hallintaa pitäisi haastattelujen perusteella kehittää merkittävästi.

Yritysten kannalta ulkopuolisen tutkimusorganisaation mukana oloa pidetään hyvänä asiana, sillä yrityksillä itsellään ei riitä resursseja laajan tutkimuksen tekemiselle. Haastattelujen perusteella aiemmin tehdyissä tutkimuksissa ei ole riittävästi painotettu toimialan erityispiirteitä, kuten muuttuvia käyttöolosuhteita ja valmistuksen pieniä sarjakokoja.

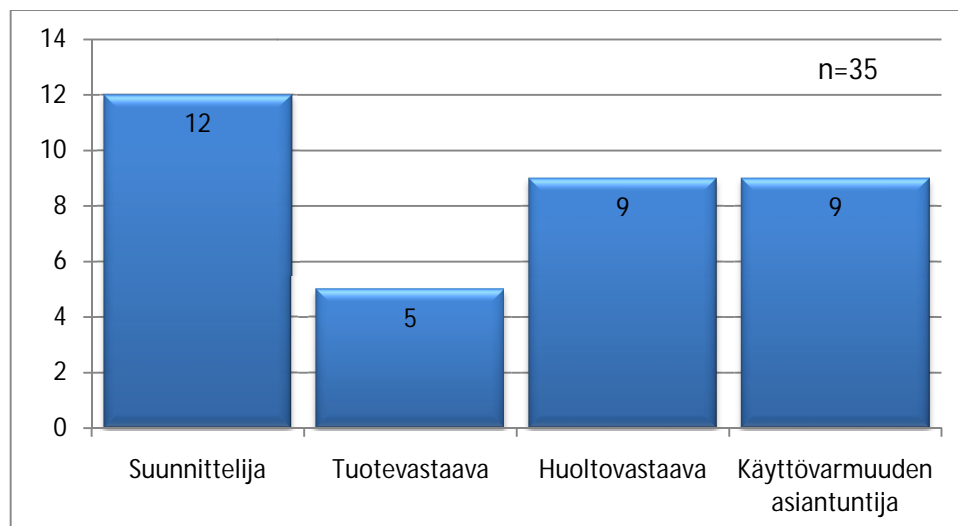
## 4.2 Web-kysely

Joulukuun 2010 ja tammikuun 2011 välisenä aikana toteutettiin web-kysely lähinnä FIMAn jäsenyritysten joukosta valituille yrityksille. Kysely lähetettiin kymmenelle FIMA:n jäsenyritykselle ja viidelle muulle yritykselle. Yritykset edustavat lähinnä liikkuvien työkonien valmistajia. Tähän lukuun on kerätty vastausaineiston perusteella tälle diplomityölle relevantteja huomioita. Kysely tehtiin RelSteps -hankkeen kokonaisuutta ajatellen, eikä sitä näin ollen ollut tehty diplomityön lähtökohdista. Kysymysten joukos-

sa on kuitenkin sellaisia kysymyksiä, joiden vastauksia voidaan käyttää johtopäätösten tekemiseen myös diplomityössä.

Kyselypohja on liitteessä 5. Kyselyn alkupäässä valitun osaamisalueen tai vastuualan perusteella vastaajalle kohdistui tehtävänkuvaan sopiva kysymyspaletti. Monet kysymykset kohdistettiin kaikille vastaajille, mutta osa kysymyksistä oli jo lähtökohtaisesti mietitty varsin selvästi koskemaan vain tiettyä vastaajajoukkoa tai tiettyjä vastaajajoukkoja.

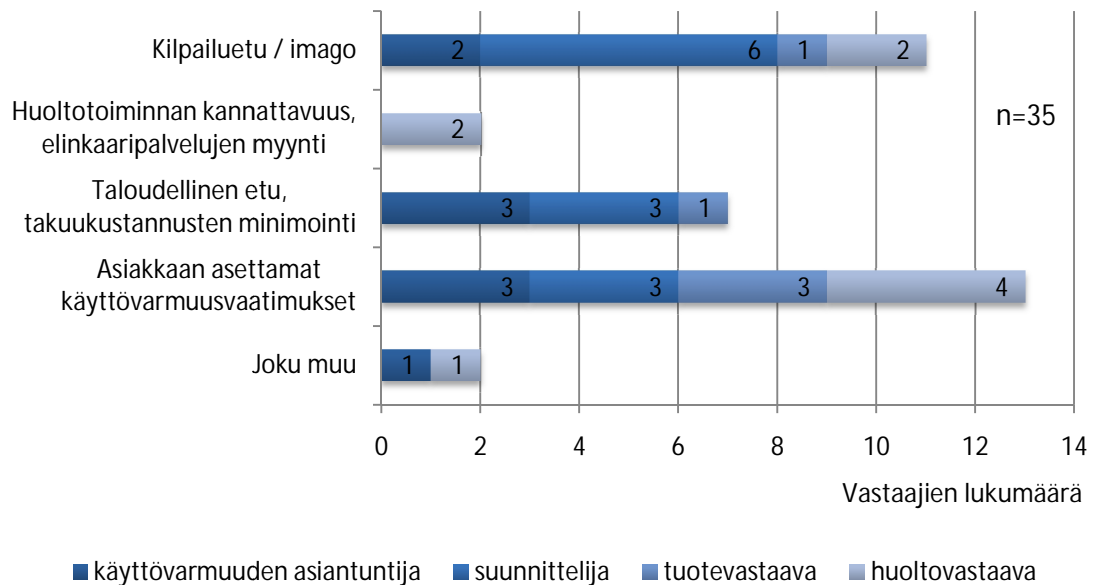
Lopulta vastauksia saatiin 11 yrityksestä. Vastaajia oli yhteensä 35, joista 12 luokitteli itsensä annettujen vaihtoehtojen joukosta suunnittelijaksi, viisi tuotevastaavaksi, yhdeksän huoltovastaavaksi, ja yhdeksän käyttövarmuuden asiantuntijaksi (kuva 19). Tämä jakauma sopii erinomaisesti diplomityön tarkoituksiin, sillä siinä suunnittelijat ovat yliedustettuina, jolloin heidän näkemyksensä korostuu. Toisaalta yritysten eri tehtävissä toimivien henkilöiden vastaukset laajentavat vastausten näkökulmaa.



**Kuva 19.** Vastaajien toimenkuvat.

Kyselyyn osallistuneista 35 vastaajasta suurin osa, eli 21 vastaajaa, oli sitä mieltä, että heidän edustamansa yritys on käyttövarmuuden hallinnan osalta samalla tasolla kilpailijoidensa kanssa. Käyttövarmuuden hallinnan edelläkävijöinä yrityksensä näki yhdeksän (9) vastaajaa, ja vastaavasti viisi (5) vastaajaa oli sitä mieltä, että heidän edustamansa yritys on asian suhteen jäljessä kilpaileviin yrityksiin nähden. Kysymykseen liittyvien avointen vastausten perusteella voisi päätellä, ettei käyttövarmuuden hallinta ole kovinkaan korkealla tasolla suurimmassa osassa haastatelluista yrityksistä. Vastausten perusteella usealta yritykseltä puuttuvat vakiintuneet ja koko yritystä koskevat käytännöt käyttövarmuuden hallitsemiseksi. Useat vastaajat, jotka olivat sitä mieltä, että heidän edustamansa yritys on samalla tasolla kilpailijoihin verrattuna, ilmaisivat, ettei heillä ole käytössään vakiintunutta prosessia käyttövarmuuden hallitsemiseksi, kuten ei heidän käsityksensä mukaan suurimmalla osalla kilpailijoistakaan.

Vastaajien näkemyksen mukaan tärkein syy siihen, miksi heidän edustamansa yritys on kiinnostunut käyttövarmuudesta, ovat asiakkaiden asettamat käyttövarmuutta koskevat vaatimukset. Toiseksi tärkeimpänä pidettiin kilpailuedun saavuttamista tai imagotekijöitä. Sen sijaan huoltotoiminnan kannattavuuden ja elinkaaripalvelujen myynnin nimesi tärkeimmäksi vain kaksi vastaajaa. Molemmat vastaajat edustivat yritystensä huoltosektoria. Nämä tiedot esitetään kuvassa 20 ositettuna eri vastaajaryhmien kesken.

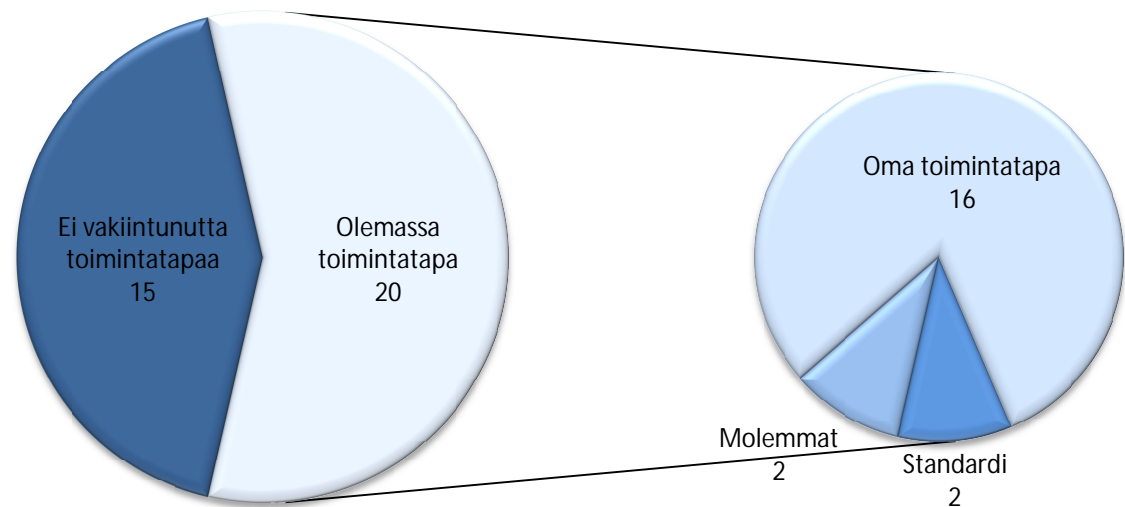


**Kuva 20.** Vastaajien käsitys siitä, miksi heidän edustamansa yritys on kiinnostunut käyttövarmuudesta.

Vastausten perusteella voidaan päätellä, että liiketoimintamallien muuttuminen kohti palveluliiketoimintaa on vielä kesken. Tämä näkyy kyselyn vastauksissa myös muun muassa siinä, että useiden vastausten mukaan käyttövarmuuden osalta keskitytään lähinnä ainoastaan takuuajaiseen käyttövarmuuden hallintaan. Käyttövarmuusdatan keräämistä koskevien vastausten perusteella yrityksissä ei välttämättä ole siirrytty edes huoltoliiketoimintaan. Käyttövarmuustietoja nimittäin kerätään useiden vastaajien näkemyksen mukaan vain takuuajalta. Koko tuotteen elinkaarta koskevaa liiketoimintaa ei näin ollen nähdä niinkään ajurina, vaan asiakkaista lähtevänä vaateena. Kaiken kaikkiaan kulttuurillinen muutos yrityksissä on jäänyt tapahtumatta, ja yritykset näkevät itsensä edelleen laitetoimittajina. Mikäli vastauksia vertaa esiselvityksessä saatuihin vastauksiin, voidaan nähdä asian suhteen selviä ristiriitaisuuksia. Voitaneenkin todeta, että tällä hetkellä muutostarve on kyllä havaittu ainakin johto- ja strategiatasolla, mutta sen siirtyminen ”lattiataason” käytännön toimintaan on vielä pahasti kesken.

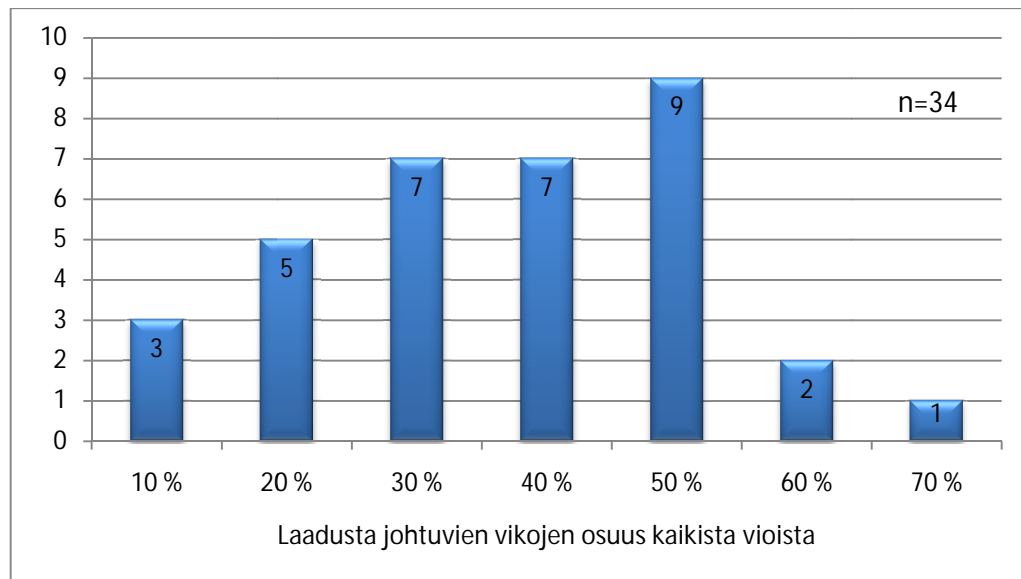
Web-kyselyn perusteella hieman alle puolella yrityksistä ei ole käytössään vakiintunutta toimintatapaa käyttövarmuuden hallintaan (kuva 21). Vastauksissa on kuitenkin hajontaa samaa yritystä edustavien vastaajien välillä. Useimmat vastaajat, jotka tunnistivat

yrityksessään noudatettavan jotakin toimintatapaa, kokivat toimintatavan yrityksen omaksi toimintatavaksi. Kahden vastaajan mielestä käytössä oli jokin standardin määrittelemä toimintatapa, samoin kaksi vastaaja koki, että toimintatapa on sekä standardin mukainen että yrityksen oma. Vastausten hajoaminen yritysten sisäisesti kertoo osaltaan siitä, etteivät toimintatavat ole juurtuneet kovin hyvin koko yrityksen läpi. Toisaalta vastaukset kuvastavat jo aiemmin tunnistettua ongelmaa siitä, että standardeissa esitetyt toimintatavat eivät ole sellaisinaan kovinkaan helposti siirrettävissä käytännön toimintaan.



**Kuva 21.** Yrityksissä käytössä olevat käyttövarmuuden hallinnan toimintatavat.

Suomalaisten työkonevalmistajien yhtenä kilpailuvalttina on yleisesti pidetty korkeata laatua. Tähän näkemykseen nähden on varsin yllättävää havaita, että nimenomaan laatu on web-kyselyn perusteella tunnistettu koneiden vikojen suurimmaksi syylähteeksi. Kuvassa 22 on esitetty vastaajien näkemys siitä, kuinka suuri osa kaikista yrityksen koneisiin kohdistuvista vioista on peräisin laatuvirheistä. Peräti 12 vastaajaa 34:stä koki, että puolet tai enemmän vioista johtuu nimenomaan laatuun liittyvistä syistä. Kyselyssä laatuvirheiksi oli esimerkinomaisesti mainittu komponentit, asennustyö, suunnitteluvirheet, sekä huollon tekemät virheet. Muina vastausvaihtoehtoina olivat ”käyttöohjeiden vastainen käyttö, käyttäjän virheet” sekä ”ympäristö (lämpötila, kosteus, korroosio, pöly)”. Sitä, mikä osa laatuvirheistä on nimenomaan suunnittelussa tapahtuneista virheistä johtuvia, ei kyselyssä pyydetty arvioimaan tai erittelemään.



**Kuva 22.** Vastaajien näkemys siitä, kuinka suuri osa heidän edustamansa yrityksen tuotamien koneiden vioista on peräisin laatuvirheistä.

Kysyttäessä visioita tiedonkeruun, analysoinnin ja hyödyntämisen suhteen oman työnsä näkökulmasta, nousi muutamissa vastauksissa esille käyttövarmuuden suunnittelu tuotekehitysvaiheessa. Eräs vastaaja totesi jopa suoraan ”koko koneen laajuisen käyttövarmuuden ennakointi jo suunnitteluvaiheessa”, toinen vastaaja oli samoilla linjoilla toteamalla: ”kattavampi luotettavuussuunnittelu ja testaus/seuranta tuotekehitysvaiheessa”. Myös muissa vastauksissa oli havaittavissa samansuuntaisia toiveita käyttövarmuuden hallitsemisesta tuotekehitysvaiheessa. Juuri näiden visioiden toteutumista pyritään edistämään tässä diplomityössä esitettävän mallin avulla. Visioissa peräänkuulutetaan myös muun muassa merkittävimpien käyttövarmuuteen vaikuttavien tekijöiden tunnistamista ja käyttövarmuuden hallinnan parantamista tätä kautta. Lisäksi erilaisten käyttövarmuuteen liittyvien tietojen keräämiseen, analysointiin ja tiedon välittämiseen toivotaan parannusta tulevaisuudessa.

### 4.3 Varsinaiset yrityshaastattelut

Varsinaisista yrityshaastatteluista diplomityöhön ehdittiin analysoida kolmen yrityksen haastattelut. Web-kyselyiden perusteella valittiin jatkotutkimukseen soveltuvat yritykset, joissa haastattelut suoritettiin. Kustakin yrityksestä pyrittiin saamaan haastatteluun mukaan mahdollisimman kattava joukko vastaajia yrityksen erilaisilta toimialueilta. Haastatteluissa syvennettiin web-kyselyn pohjalta saatuja tietoja ja tarkennettiin taustoja saatujen vastausten perusteella.

Haastattelut noudattelivat liitteessä 6 esitettyä haastattelurunkoa. Tässä luvussa on koottu päähuomioita diplomityön aihepiiriin liittyen. Tiedot on koottu haastattelumuistioiden pohjalta.



Varsinaisissa haastatteluissa ei tullut esille mitään diplomityön kannalta merkittävää uutta tietoa. Sen sijaan moni aiemmin tunnistettu ja havainnoinnissa tieto sai vahvistuksen tehtyjä haastatteluja analysoitaessa.

Haastattelut vahvistivat käsitystä siitä, että käyttövarmuuden suunnittelu ei yrityksissä ole kovinkaan järjestelmällistä ja organisoitua. Tiedon saannissa ja saadun tiedon analysoinnissa näyttäisi olevan varsin paljon puutteita.

Koko suunniteltavaa systeemiä koskevien käyttövarmuusvaatimusten allokoinnissa osajärjestelmille oli havaittavissa selviä puutteita. Tämä, ainakin haastatteluaineiston perusteella, johtunee pitkälti siitä, että tuotekehitys työkonemaailmassa on suurilta osin inkrementaalista. Tällaisessa tilanteessa jo olemassa olevien koneiden käyttökokemukset antavat usein pohjan hyvälle arvaukselle siitä, miten vaatimuksia voisi allokoida. Pitkällä aikavälillä tällainen inkrementaalinen tuotekehitys voi kuitenkin muuttaa kehitettävien laitteiden luonnetta niin suuresti, etteivät pelkkään kokemukseen perustuvat osittamiset välttämättä ole lähelläkään optimiratkaisua.

Haastatteluista kävi selvästi ilmi ja sai tukea jo aiemmin tunnistettu asia, jonka mukaan turvallisuusasiat ovat yrityksissä käyttövarmuuteen liittyviä paremmin hallussa. Haastattelujen perusteella tämä johtuu nimenomaan siitä, että turvallisuutta koskevat ohjeet ja määräykset on esitetty selkeästi ja pakottavasti laeissa, asetuksissa ja standardeissa. Toisaalta positiivista on se, että osa yrityksistä näyttää omaksuneen näkökulman, jonka mukaan turvallisuuden ja käyttövarmuuden kehittäminen nähdään toisiaan tukevinä kokonaisuuksina.

Eräässä haastattelussa nousi esille seikka, jota ei välttämättä tule aina huomioitua. Vaikka dokumentointia ja sen tärkeyttä painotetaan siitä saatavien etujen, kuten jäljitettävyyden takia, unohtuu usein negatiivisten tai epäonnistuneiden asioiden dokumentointi. Tuotekehityksessä olisi erittäin tärkeää dokumentoida myös ne ideat ja ratkaisut, jotka osoittautuvat epäonnistuneiksi. Näin voitaisiin ainakin jossain määrin välttää samojen virheiden ja virheellisten ratkaisujen uusiutuminen.

## 5 RAMS -HALLINTA TUOTEKEHITYKSEN ALUSSA

Eri standardeissa ja käsikirjoissa on annettu keinoja RAMS -näkökohtien hallintaan elinkaaren eri vaiheissa. Ongelmana on kuitenkin se, miten näitä malleja ja keinoja voisi soveltaa käytännössä ottaen huomioon erilaisten teollisuuden alojen, tässä tapauksessa erityisesti liikkuvien työkoneiden parissa toimivien toimijoiden kohtaamat erityispiirteet. Haasteena on siis, miten vastata edellä esitettyihin puutteisiin ja miten tuodaan aiemmin esiteltyissä standardeissa ja kirjallisuudessa esitetyt tavat konkreettiselle tasolle siten, että niitä on mahdollista hyödyntää tuotekehityksen alkuvaiheissa.

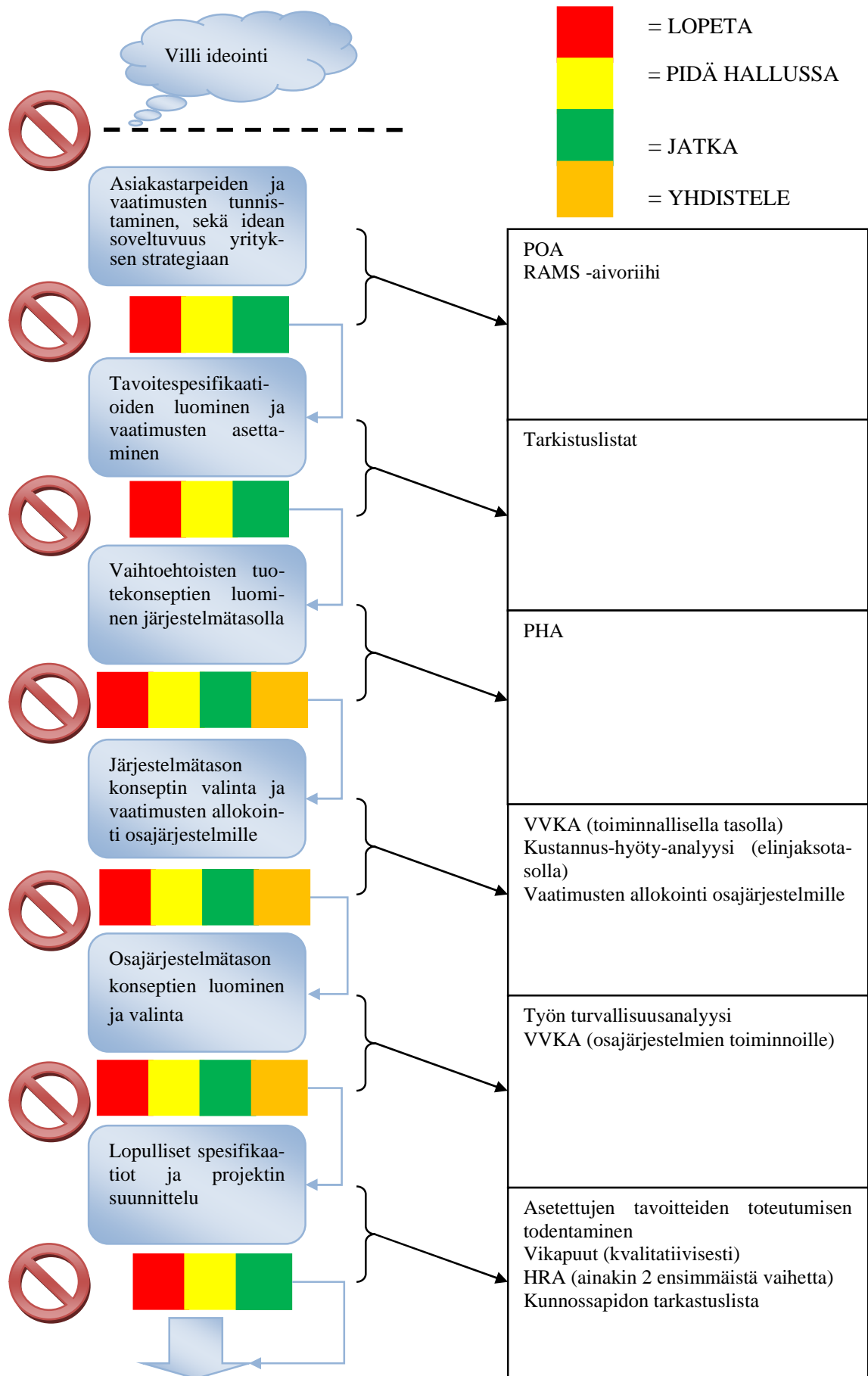
### 5.1 Malli tuotekehityksen alkuvaiheiden RAMS -hallinnasta

Kuvassa 23 on esitetty erityisesti liikkuvien työkoneiden suunnittelua varten luotu toimintamalli RAMS -näkökohtien huomioimiseksi tuotekehityksen alkupäässä. Vaikka malli esittää tuotekehitysprojektin jatkuvasti etenevänä prosessina, todellisuudessa iteraatiota esiintyy kaikissa vaiheissa. Luonnollisesti jatkuvasti etenevä prosessi olisi tehokkain, mutta käytännössä ilman iteraatioita tuskin saavutetaan lopulta parasta mahdollista lopputulosta.

On huomattava, että vaikka tässä työssä esitetty malli on suunniteltu nimenomaan silmällä pitäen hankkeessa mukana olevia tahoja, ovat eri yritysten sisäiset tuotekehitysprosessit ja eri tuotekehitysprojektit toisistaan eroavaisia. Näin ollen myös malli tulee mukauttaa kulloisenkin tilanteen ja toimijan mukaan sopivaksi.

Kuvattu malli perustuu pitkälle Cooperin (2001) kuvaamaan Stage-Gate<sup>®</sup> -malliin, Ulrichin & Eppingerin (2004) tuotekehitysprosessin teoriaan, Koen et al. (2001) esittämään innovoinnin alkupään mallinnukseen, sekä työssä aiemmin esiteltyihin RAMS -hallintaan liittyviin malleihin. Luodussa mallissa ”liikennevalot” kuvaavat Stage-Gate<sup>®</sup> -mallin portteja, ja vaiheet (vrt. stage) on valittu kirjallisuudessa esiintyneiden tuotekehityksen alkupäätä kuvaavien prosessimallien pohjalta yhdistäen ja muokaten niitä työkonemaailmaan sopiviksi. Konseptien suunnittelun jakaminen erikseen järjestelmätasolle ja osajärjestelmätasolle on johdettu ohjelmistotekniikassa yleisesti käytetyn V-mallin pohjalta.

Mallin käytäntöön soveltamisessa on otettava huomioon kulloinkin saatavilla olevan tiedon määrä. Esimerkiksi inkrementaalisessa tuotekehityksessä on useimmiten saatavilla edellisen sukupolven koneisiin liittyvää käyttökokemusdataa, jota voidaan käyttää lähtökohtana uuden tuotteen suunnittelussa. Lisäksi tällainen käyttökokemustieto antaa hyvän perustan lähdettäessä tekemään riskinarviointia ja hahmottelemaan merkittäviä vaaroja, jotka on syytä huomioida tuotekehityksen aikana. Ennen kaikkea riskienhallinnan kannalta on tärkeätä pyrkiä välttämään samoja virheitä, joita aiemmin on tehty, ja lisäksi on oltava varovainen näiden virheiden korjaamiseksi tehtävien toimien seurausten osalta, jotta näillä tunnistettuja vaaroja estävillä toimilla ei aiheuteta uusia vaaroja.



**Kuva 23.** Kuvaus luodusta RAMS -hallintamallista tuotekehityksen alkupäässä.

### 5.1.1 Villi ideointi

Villi ideointi tässä mallissa ei tarkoita pelkästään yrityksen sisäisesti tehtyä ideointia, vaan näkemystä ideoinnista on syytä laajentaa koskemaan myös talon ulkopuolisista lähteistä tulleita idean siemeniä. Näitä ideoita voidaan saada esimerkiksi suoraan asiakkailta tai erilaisten markkinatutkimusten kautta. Samaa laajennettua näkökulmaa kannattaa käyttää myös ideoiden testauksessa. Siinäkin on syytä ottaa mukaan asiakkaat. Pelot esimerkiksi asiakkailta saatavasta negatiivisesta palautteesta on syytä unohtaa, sillä on hyvä saada asiakkaan suunnalta rakentavaa palautetta jo suunnittelun alkuvaiheessa, jolloin asioihin voidaan vielä vaikuttaa ja muutokset suunniteltavaan kohteeseen ovat edullisia. Markeset & Kumar (2003) toteavat osuvasti, että tuote on olemassa, koska on olemassa asiakas, joka on valmis maksamaan siitä ja halukas käyttämään tuotetta. Toisaalta he toteavat valmistajan olevan olemassa, koska tarvitaan joku, joka valmistaa tuotteen, ja tuotteelle on olemassa markkinat sekä asiakkaat. Kaiken kaikkiaan asiakkaat on syytä ottaa mukaan tuotekehitysprojekteihin.

Villin ideoinnin jälkeen ensimmäisellä portilla tehdään päätös esisuunnittelun aloittamisesta. Kaikki esille tulleet ideat, riippumatta niiden jatkokohtalosta, kannattaa dokumentoida ja arkistoida sellaiseen muotoon, että niihin voidaan tulevaisuudessa palata. Usein käyttökkelvottomilta, mahdottomilta toteuttaa ja turhan ”korkealentoisilta” tuntuvat ajatukset ovat juuri niitä, joilla tulevaisuudessa voi joko sellaisenaan tai hieman muokattuina olla käyttöä. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan vielä pitäisi pohtia kovinkaan tarkasti teknistä toteutettavuutta tai teknisiä vaatimuksia.

### 5.1.2 Asiakastarpeiden ja vaatimusten tunnistaminen, sekä idean soveltuvuus yrityksen strategiaan

”Asiakastarpeiden ja vaatimusten tunnistaminen, sekä idean soveltuvuus yrityksen strategiaan” -vaiheessa tunnistetaan asiakastarpeet suunniteltavana olevan kohteen osalta ja pohditaan suunniteltavan tuotteen sopivuutta yrityksen strategian näkökulmasta. Joskus kehitettävä tuote saattaa olla niin merkittävä edistysaskel yrityksen toiminnassa, että itse asiassa päädytäänkin miettimään yrityksen strategiaa tuotteen näkökulmasta. Tässä ensimmäisessä varsinaisessa vaiheessa on viimeistään syytä määritellä hyvyydelle mittaristo. Mittaristo voidaan luoda esimerkiksi Pahl & Beitzin teorian mukaisesti tuotteelle tehdyn vaatimuslistan perusteella. Luodaan mittaristo miten tahansa, on siinä otettava huomioon ainakin kriteereiden läpinäkyvyys, yhteismitallisuus, subjektiivisuus, mitattavuus ja niin edelleen.

Potentiaalisten ongelmien analyysillä pyritään tässä vaiheessa tunnistamaan eri ideoihin liittyviä onnettomuusvaaroja. Aiempien vastaavanlaisten laitteiden käyttökokemukset ja niihin pohjautuvat havainnot ovat hyviä lähtökohtia ongelmien tunnistamiselle. Analyysin teossa käytettävä aivoriihimenetelmä on oivallinen tapa liittää yhteen suunnittelun ja mahdollisesti muiden analyysin tekoon osallistuvien tahojen mielipiteitä ja näkemyksiä.

Tällöin on mahdollista, että tuotekehityksen tueksi saadaan näkemyksiä, jotka olisivat muuten voineet jäädä huomioimatta. Toisin sanoen tuotekehitysprosessin alussa on hyvä toteuttaa myös riskianalyysiä ryhmätyöskentelynä. Tällöin on varsinaisten analyysitulosten lisäksi mahdollista saavuttaa sivutuotteena myös muuta tärkeätä informaatiota.

RAMS -näkökohtiin keskittyvä aivoriihi pitäisi järjestää, jotta saataisiin mahdollisimman kattava näkemys niistä seikoista, joita pitää ottaa huomioon tuotteen käyttövarmuutta ja turvallisuutta suunniteltaessa. Tämän aivoriihen yhteydessä on syytä selvittää nykytilan ja asetetun tavoitetilan väliset erot, joihin suunnittelussa on vastattava.

Vaiheen jälkeisellä portilla tehtävissä päätöksissä kehitettäviä ideoita on verrattava ennen kaikkea määriteltuihin hyvyyden mittareihin, asiakastarpeista heijastuvaan markkinapotentiaaliin, yrityksen strategiasta kumpuaviin reunaehtoihin, sekä mahdollisesti esille nousseisiin potentiaaliin ongelmiin, joita ei voida helposti korjata. Jo tässä vaiheessa on syytä kiinnittää huomiota siihen, keitä ovat ne henkilöt tai ryhmät, jotka vastaavat portilla tehtävistä päätöksistä. Päättävien henkilöiden tulisi joka tapauksessa edustaa ainakin jossain määrin niitä tahoja, jotka päättävät resurssien käytöstä yrityksessä. Lisäksi tulee miettiä päättävien henkilöiden suhdetta päätöksenalaisiin ideoihin.

### **5.1.3 Tavoitespesifikaatioiden luominen ja vaatimusten asettaminen**

Seuraavana vaiheena on tavoitespesifikaatioiden luominen ja vaatimusten asettaminen. Näitä määritettäessä on otettava huomioon muun muassa tulevan tuotteen käyttöympäristö, ja sen mukanaan tuomat haasteet koneen käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallinnalle. Lisäksi tulee huomioida muista lähteistä, kuten säädöksistä ja asiakkaalta tulevat vaatimukset. Mikäli tuotekehitystä ei tehdä vastaamaan tiettyyn tilaukseen tai asiakkaita on useampia, voidaan tuotteen ominaisuuksia määritellä tietyille vaihteluvälille osuviksi. Työkonemaailmassa sarjakoot ovat perinteisesti pieniä ja tuotevariaatiot varsin suuria, jolloin tuotesuunnittelu on monilta osin asiakaskohtaista ja -lähtöistä. Tällöin asiakasvaatimukset määritellään tietyn asiakkaan toimesta ja vaatimukset muotoutuvat näin tarkemmiksi. Vaatimuksia pohdittaessa on syytä pitää mielessä, että eri lähteistä tulevat vaatimukset ovat usein ristiriitaisia ja siten samanaikaisesti toteutuskelvottomia. Yritysten olisikin syytä pohtia esimerkiksi vaatimusmatriisin käyttöä vaatimusten lähteiden selventämiseksi ja hallitsemiseksi. Tällaisesta matriisista pitäisi käydä ilmi se, kuka tai ketkä ovat minkäkin vaatimuksen taustalla. Edellisessä vaiheessa tehtyä alustavaa vaatimuslistaa täydennetään tässä vaiheessa työstettyjen asioiden pohjalta.

Tässä vaiheessa saattaa vielä riittää esimerkiksi pelkän käyttövarmuusvaatimuksen määrittäminen koko kehitettävälle tuotteelle. Ei siis useinkaan ole järkevää lähteä vielä tässä vaiheessa vajavaisten tietojen ja epämääräisten oletusten pohjalta asettamaan erilisiä vaatimuksia käyttövarmuuden eri tekijöille, kuten toimintavarmuudelle. Tästä poikkeuksena ovat tietenkin tilanteet, joissa näitä vaatimuksia on erikseen esitetty esimerkiksi asiakkaan tai lainsäädännön puolesta. Erityisesti ei ole suositeltavaa allokoida

vaatimuksia osajärjestelmille, joita ei vielä varmuudella edes tunneta. Tähän vaiheeseen liittyväksi analyysimenetelmäksi ehdotetaan käytettäväksi tarkistuslistaa, jonka avulla on tarkoitus varmistaa, että tarvittavat RAMS -näkökohdat on riittävästi otettu huomioon spesifikaatioita, vaatimuksia ja tulevien konseptien määrittelyä koskien.

Vaiheen jälkeisellä portilla ideoita tulee verrata vaiheessa asetettuihin tai täydennettyihin vaatimuksiin. On pohdittava muun muassa, onko järjestelmän kokonaiskäyttövarmuusvaatimukset saavutettavissa ehdotetun idean pohjalta. Mikäli näin ei ole, on rohkeasti uskallettava antaa idealle kielteinen päätös, joko ”lopeta” tai ”pidä hallussa” -päätöksellä. Lisäksi aiempaa tiukemmin on puututtava vaatimuslistalla esiintyvien toiveiden täyttymättömyyteen. Edelleen kriteerien tulisi kuitenkin painottua enemmän esimerkiksi markkinapotentiaaliin kuin teknisiin ominaisuuksiin. Ideaa eteenpäin ajaviin henkilöiden pitäisi tässä vaiheessa jokseenkin luotettavasti pystyä osoittamaan ehdotuksensa RAMS -vaatimusten saavuttamiseksi tehtävät toimenpiteet ainakin sillä tasolla, että niiden pohjalta voidaan päätellä käyttövarmuutta ja turvallisuutta koskevat mahdolliset merkittävät pullonkaulat.

#### **5.1.4 Vaihtoehtoisten tuotekonseptien luominen järjestelmätasolla**

Edellä kehitettävistä tuotteista on Koenin et al. (2002) esittämän ajatuksen mukaisesti käytetty nimitystä ”idea”. Vaihtoehtoisia tuotekonsepteja luotaessa ideoita syvennetään ja tuodaan ne aiempaa konkreettisemmalle tasolle. Aiemmin työn teoriaosuudessa käsiteltiin erilaisia määritelmiä konseptille. Tässä mallissa konsepti ymmärretään siten, että se käsittää jonkinlaisen kuvauksen tuotteen muodosta, pääominaisuuksista, tarvittavasta teknologiasta, sekä taloudellisia näkökulmia (vrt. Ulrich & Eppinger (2004); Koen et al. (2002); Paasi et al. (2007)). Näin ollen konsepti käsittää myös Paasin et al. (2007) esittämän lisäyksen siitä, miten konseptin määrittelemän tuotteen avulla on tarkoitus tehdä tuottoa tulevaisuudessa. On siis varsin perusteltua pohtia myös esimerkiksi palveluliiketoiminnan osuutta luotavan konseptin suhteen. Vaiheeseen ehdotetaan liitettäväksi alustava vaara-analyysi, jonka avulla selvitetään eri konseptivaihtoehtoihin liittyviä vaaroja.

Tehtyjen analyysien pohjalta selkeästi ongelmalliset konseptit hylätään, tulevaisuudessa nähtävillä olevaa potentiaalia sisältävät pidetään hallussa ja muiden kohdalla siirrytään seuraavaan vaiheeseen. Tuotekonsepteja luotaessa ja niiden jatkokäsittelystä päätettäessä on syytä lisätä porteille vaihtoehdoksi ”yhdistele”. Tällöin useampien konseptivaihtoehtojen parhaat puolet voidaan yhdistää. Yhdistele vaihtoehdossa on syytä huomioida myös jo aiemmin sivuun laitettut ideat. Mikäli ne on dokumentoitu huolella, on tässä vaiheessa mahdollista jonkin osa-alueen kohdalla yhdistellä näistä ”varastoon” laitetuista ideoista parhaita puolia, ja näin saavuttaa uusia mahdollisesti aiempaa parempia konseptivaihtoehtoja. Tässä vaiheessa on syytä alkaa kiinnittämään aiempaa enemmän huomiota teknisiin vaatimuksiin ja niiden täyttämisen mahdollisuuksiin kunkin konseptivaihtoehdon kohdalla.

### 5.1.5 Järjestelmätason konseptin valinta ja vaatimusten allokointi osajärjestelmille

Edellisessä vaiheessa luodut järjestelmätason tuotekonseptit, jotka on hyväksytty toteutuskelpoisiksi, asetetaan vastakkain ja niistä valitaan parhaat. Vertailtaessa eri konsepteja keskenään tukeudutaan prosessin alussa luotuun mittaristoon, jota on päivitetty prosessin aikana. Mikäli vertailtavia konsepteja on vain muutama, voidaan tyytyä kvalitatiiviseen arvioon kunkin konseptin hyvyydestä. Jos konsepteja on paljon, on syytä kvantifioida arviointiprosessi. Vertailussa käytettävät kriteerit voidaan pitkälti johtaa vaatimuslistasta. Konseptivaihtoehtojen vertailussa on taloudellista hyvyyttä mahdollista määrittää esimerkiksi elinjaksonäkökulmasta tehtävällä kustannus-hyöty -analyysillä. Lisäksi vaiheen tehtäviin kuuluu vaadittavien osajärjestelmien tunnistaminen, sekä järjestelmätasojen vaatimusten allokointi tunnistetuille osajärjestelmille. Vika- vaikutus- ja kriittisyysanalyysillä tutkitaan konseptivaihtoehtoihin liittyviä vikoja ja määritetään niihin kohdistuvia riskejä toimintojen tasolla. Lisäksi jo tässä vaiheessa on syytä alustavasti pohtia eri toimintojen tai osajärjestelmien kriittisyyttä, nämä kriittisyystarkastelut luovat pohjaa vaatimusten allokoinnille ja osajärjestelmien keskinäiselle resursien kohdentamiselle.

Erityisesti luotettavuusvaatimusten osalta on syytä miettiä sitä, miten korkeamman tason, tai koko järjestelmää koskevat, vaatimukset allokoidaan eri osajärjestelmille. Tasa- allokointi vaikuttaa helpoimmalta tavalta, mutta se on harvoin paras ja tehokkain tapa saavuttaa tavoitteet. Vaatimusten tasajako tässä kontekstissa tarkoittaisi sitä, että jos tunnistettuja osajärjestelmiä olisi  $n$  kappaletta sarjaan kytkettynä, niin kullekin osajärjestelmälle kohdistettava vaatimus luotettavuudesta saataisiin kaavasta

$$Y^n = X, \quad (2)$$

missä  $Y$  on kullekin osajärjestelmälle kohdistettu luotettavuusvaatimus,  $n$  on osajärjestelmien määrä, ja  $X$  on koko systeemin luotettavuusvaatimus. Tasa-allokointia vastaan puhuu erityisesti se tosiasia, että eri osajärjestelmien niin sanottu luontainen luotettavuus on usein täysin erilainen. Vaatimusten allokoinnissa on siis otettava huomioon kunkin osajärjestelmän erityispiirteet, jotka määrittelevät sen, kuinka suuria panostuksia vaaditaan tietyn luotettavuustason saavuttamiseksi. Edellä mainitun luontaisen tason saavuttaminen on siis varsin helppoa ja vähän kustannuksia tuottavaa, sen sijaan tason ylittäminen vaatii suuria panostuksia. Tuotekehitystä tekevän yrityksen on siis jo aikaisessa vaiheessa otettava kantaa eri osajärjestelmille asetettaviin vaatimuksiin.

Allokoinnin lisäksi on pohdittava sitä, miten asetettuihin käyttövarmuusvaatimuksiin päästään. Kunnossapidettäväksi tarkoitettujen systeemien kohdalla ei ole järkevää pyrkiä kehittämään pelkästään toimintavarmuutta, vaan käyttövarmuutta on pohdittava sen jokaisen osatekijän näkökulmasta. Jossain tilanteissa vaadittu käyttövarmuustaso voidaan saavuttaa helpoiten ja kustannustehokkaimmin parantamalla kunnossapidettävyyttä esimerkiksi helpottamalla luoksepäästävyyttä. Myös kunnossapitovarmuuden eli kun-



nossapito-organisaation tehokkuuden parantaminen on syytä muistaa mahdollisuutena vaikuttaa luotettavuuteen. On varsin selvää, ettei kaikkea voida saavuttaa, ja eri ominaisuuksien, kuten toimintavarmuuden ja kunnossapidettävyyden välillä on tehtävä kompromisseja. Tämä niin kutsuttu ”trade-off” -toiminta on osa tuotekehityksen arkipäivää.

On muistettava, että toimintavarmankin osajärjestelmän huono kunnossapidettävyys voi romuttaa koko järjestelmän käyttövarmuustason. Jos kyseessä on inkrementaalinen tuotekehitys, edellisen version dataa tulee tulkita ottaen huomioon kaikki käyttövarmuuteen vaikuttavat tekijät, ja pohdittava mikä olisi helpoiten parannettava osa-alue suunnittelun kannalta. Jos vanhaan koneeseen lisätään uusi osajärjestelmä, tulisi muistaa, että myös vanhan järjestelmän käyttövarmuuden parantamiseen kannattaisi ehkä kohdentaa voimavaroja sen sijaan, että yritettäisiin uuden osajärjestelmän osalta päästä aiempaa paremmalle tasolle. Kentältä tehtyjen havaintojen perusteella on ollut havaittavissa sellaista suuntausta, että uudelle lisättävälle osajärjestelmälle asetetaan huomattavan korkeita käyttövarmuusvaatimuksia ja ne toteutetaan kustannuksista välittämättä, kun samaan aikaan vanhojen, jo olemassa olevien, osajärjestelmien kohdalla tyydytään matalampiin vaatimuksiin.

### **5.1.6 Osajärjestelmätason konseptien luominen ja valinta**

Edellisessä vaiheessa tunnistetut osajärjestelmät ja valittu järjestelmätason konsepti toimivat lähtökohtina osajärjestelmätason konseptivaihtoehtojen luomiselle. Tehtävänä on valita toteutustavat eri osajärjestelmille. Valittavien osajärjestelmien yhteensopivuus on varmistettava.

Työn turvallisuusanalyysillä voidaan ennakoida kuhunkin tuotekonseptiin liittyviä erityisiä tapaturmavaaroja luonnostelemalla teknisen järjestelmän ja sen käyttäjien välistä työnjakoa ja tarkastelemalla oletettavia työsuorituksia. Lisäksi TTA:n löydösten perusteella voidaan havainnoida niitä kohteita, jotka vaativat muutoksia konsepteissa. TTA:n keskittyessä lähinnä turvallisuuteen, tehdään luotettavuuteen liittyen edellistä vaihetta tarkemmalla tasolla osajärjestelmien toiminnoille VVKA. Lisäksi vaiheessa on syytä kiinnittää huomiota mahdollisten uusien teknologioiden hyödyntämiseen liittyviin epävarmuuksiin ja siitä aiheutuneisiin riskeihin.

### **5.1.7 Lopulliset spesifikaatiot ja projektin suunnittelu**

Viimeisessä vaiheessa ennen siirtymistä varsinaiseen tuotekehitykseen määritellään tuotteen lopulliset spesifikaatiot ja suunnitellaan tuotekehitysprojekti. Samalla on varmistettava, että kaikki asetetut käyttövarmuus- ja turvallisuusvaatimukset on täytetty. Ihmisen luotettavuusanalyysistä suositellaan tässä vaiheessa tehtäväksi kaksi ensimmäistä vaihetta, eli tehtävien analysoiminen ja ihmisten tekemien virheiden tunnistaminen. Sen sijaan ihmisen luotettavuuden kvantifiointi voidaan tehdä tuotekehityksen

myöhemmässä vaiheessa, mutta perusteet sen tekemiselle on syytä rakentaa jo tuotekehityksen alkuvaiheissa.

Vikapuita voidaan tässä vaiheessa rakentaa lähinnä kvalitatiivisesti. Vikapuiden huippu-tapahtumat on mahdollista valita esimerkiksi aiempien tuoteversioiden käytössä tapahtuneiden onnettomuuksien tai vikojen perusteella. Lisäksi alalla yleisesti havaitut ongelmat ovat hyviä huipputapahtumalähteitä samoin kuin aiemmin tehtyjen muiden analyysien löydökset. Vikapuut on syytä mallintaa mahdollisimman tarkasti, jotta ne ovat myöhemmässä tuotekehitysvaiheessa helposti ja luotettavasti kvantifioitavissa.

Kunnossapidon näkökulmasta kehitettävää tuotetta tarkasteleva muistilista suositellaan käytäväksi läpi ennen siirtymistä formaaliin tuotekehitykseen. Tarkistuslistan tarkoituksena on kiinnittää huomiota niihin kunnossapidollisiin seikkoihin, joihin voidaan vaikuttaa tuotekehityksessä, suunnittelun alkuvaiheissa ei kuitenkaan ole mielekästä pohtia kovinkaan syvällisesti esimerkiksi ehkäisevän kunnossapidon ohjelmia. Lähinnä voidaan siis keskittyä pohtimaan luoksepäästävyyttä, komponenttien vaihdettavuutta, kunnossapidon turvallisuutta ja vastaavia muuttujia.

Viimeisellä portilla ennen varsinaiseen tuotekehitykseen siirtymistä on viimeinen mahdollisuus lopettaa huonon idean tai konseptin kehittäminen ennen kuin kustannukset nousevat jyrkästi. Niinpä tällä portilla on kiinnitettävä erityistä huomiota annettavien päätösten laatuun ja objektiivisuuteen. Lisäksi viimeisellä portilla ennen formaalia tuotekehitysprojehtia, on tarkastettava, että kaikki käyttövarmuuteen ja turvallisuuteen liittyvät välttämättömät vaatimukset on otettu huomioon suunnittelussa. Tässä vaiheessa on myös kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, keitä päätösten tekemiseen osallistuu. Päätöksentekijöiden tulee edustaa riittävän korkeata asemaa yrityksessä. Vain tällä tavalla voidaan varmistua siitä, että toteutettavalla hankkeella on myös tärkeä johdon tuki takanaan. Ilman johdon sitoutumista päätökseen ei voida olettaa, että tuotekehitysprojehtille saadaan varattua tarvittavat resurssit myös siinä tapauksessa, että jokin oletus ei pidäkään aivan paikkaansa.

Toimintamallin lopputuloksena pitäisi syntyä tuotteen RAMS -vaatimukset, luettelo laitteeseen liittyvistä vaaroista, raportit tehdyistä analyyseistä ja niiden tuloksista, koneen käyttö- ja huoltokonsepti, koneen vaatimuksiin liittyvien muutosten listaus, sekä suunnitelma tuotekehityksen jatkotoimenpiteistä.

### **5.1.8 Yleisiä huomioita malliin liittyen**

Edellä on avattu kuvassa 23 esitetty toimintamalli RAMS -näkökohtien hallitsemiseksi tuotekehityksen alkupäässä. Seuraaviin kappaleisiin on koottu malliin ja sen käyttöön liittyviä yleisiä huomioita, jotka on syytä ottaa huomioon mallia sovellettaessa.

Vaikkakin porteilla tehtävät päätökset perustuvat moniin eri kriteereihin ja esimerkiksi tuloskorteissa tulee olla useita eri pisteytettäviä muuttujia turvallisuuden ja käyttövarmuuden ulkopuolelta, on kuvassa 23 esitetyssä mallissa ja sen selityksissä porttien kriteereitä, vastuutahoja ja käytettäviä työkaluja pohdittu lähinnä tälle työlle relevanttien kokonaisuuksien kannalta. On siis huomattava, ettei porteilla tehtäviä päätöksiä tule tehdä pelkästään turvallisuus- ja käyttövarmuusmuuttujien perusteella, vaan tarkastella konseptia kokonaisuudessaan. Toki asetettujen käyttövarmuus- tai turvallisuusvaatimusten täyttymättä jääminen jo sinällään on peruste pitää hallussa tai lopeta -päätökselle, mutta niiden täyttyminen ei vielä sinällään yksinään voi tuottaa positiivista jatkamispäätöstä.

Aina siirryttäessä mallissa alaspäin seuraavan vaiheeseen, tulee muutosten ja virheellisten jatkopäätösten tekeminen kalliimmaksi. Tämän takia päätökset projektin jatkamisesta kullakin portilla tulisi tehdä kriittisesti, perustuen tiukkoihin vaatimuksiin. Päätöksistä vastaavat henkilöt pitäisi ainakin myöhemmillä porteilla olla kyseisen tuotekehitysprojektin ulkopuolelta, jolloin päätösten objektiivisuus paranee. Erityisesti mallin viimeisellä portilla, eli varsinaiseen tuotekehitykseen siirtymisvaiheessa päätös jatkamisesta on oltava tarkasti harkittu.

Mallin kuvauksessa eri vaiheille on kohdistettu tiettyjä analyysejä, joista on esitelty tarkemmin luvussa 2.5. Näitä analyysejä tulee täydentää ja niiden tuloksia uudelleen arvioida tuotekehityksen edetessä. Lisäksi on huomattava, että eri analyyseistä saatavat tiedot ja huomiot ovat käyttökelpoista lähtödataa myös muille tehtäville analyyseille. Mallissa esitetyt analyysit ja niiden sijoittelu eri vaiheisiin on otettava esimerkinomaisena ehdotuksena. Lopullinen valinta käytettävien analyysien osalta on tehtävä erikseen jokaisen projektin yhteydessä ottaen huomioon esimerkiksi seuraavat näkökohdat; projektin erityispiirteet, tutkittavan järjestelmän kehitysvaihe, säädöksistä ja sopimuksista aiheutuvat vaatimukset sekä käytössä olevat resurssit. Pohjana käytettävien analyysien valinnassa voidaan soveltaa esimerkiksi standardissa SFS-IEC 60300-3-9 esitettyjä näkökohtia (kts. kuva 10, s.23). Vaihtoehtoisia analyysimenetelmiä löytyy esimerkiksi standardeista SFS-IEC 60300-3-9 ja IEC/ISO 31010.

Joka tapauksessa käytettäville analyyseille on syytä esittää perusteluita. Muussa tapauksessa analyysien valintaa ohjaa helposti toteamus ”näitä on ennenkin käytetty”. Tämä ajattelutapa ei kuitenkaan ota huomioon projektien erilaisuutta tai mahdollisuutta, että aiemmin käytetyt analyysimenetelmät eivät välttämättä olekaan tehokkaimmat tai järjestelmälle sopivimmat. Käytettävien analyysien lähestymistapa ja tarkkuus on valittava tuotteen kehitysvaiheeseen ja saatavilla olevan tiedon määrään nähden oikeanlaisiksi. Ei ole esimerkiksi järkevää lähteä toteuttamaan vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysiä komponenttitasolla tuotekehityksen alkupäässä, vaan se on toteutettava sillä tasolla, kuin katsotaan järkeväksi. Yleisesti ottaen vaiheeseen sopiva tarkastelutaso voisi olla esimerkiksi toimintoihin kohdistuva VVKA.

Analyyseistä saatavan käyttövarmuus- ja turvallisuustiedon lisäksi on muistettava käyttää hyväksi aiempien käyttökokemusten perusteella kerättyjä tietoja. Lisäksi erilaisia tilastoja sekä luotettavuuden että turvallisuuden osalta on olemassa lukuisia. Kaiken kaikkiaan on varmistettava, että suunnittelijoilla on käytössään kaikki mahdollinen hyödylliseksi katsottava tieto koskien suunniteltavaa laitetta ja siihen liittyviä ulkoisia tekijöitä, kuten toimintaympäristöä.

Yrityksissä eräs käytännön ongelma prosessimallien käyttöönotossa on saada koko organisaatio sitoutettua valittuun prosessimalliin ja sen toteutukseen. Esimerkiksi tässä työssä esitetyn mallin jalkauttaminen yrityksen toimintoihin edellyttää, että kaikille mallissa esitetyille vaiheille ja niihin liittyville tehtäville on määritetty organisaatiossa vastuutahot tai -henkilöt. Tämä näkökulma on tuotekehitysmaailmaa koskevassa akateemisessa kirjallisuudessa useimmiten käsitelty suppeasti.

Vastuutahot tai -henkilöt osoittamalla saavutetaan paitsi sitoutumista, varmistetaan myös se, että tarvittavat ja määritellyt tehtävät tulee tehtyä. Toisaalta tällä tavoin voidaan myös helposti jäljittää ne ihmiset, kenellä tieto mistäkin tehtävästä siihen liittyvistä tuloksista pitäisi löytyä. Vaikka tässä työssä esitetty malli on kohdennettu nimenomaan suunnittelun alkupäästä vastaaville tahoille ja heidän käyttöönsä, on otettava huomioon, että se koskee usealta osaltaan myös muita niin organisaation sisäisiä kuin ulkoisiakin tahoja. Tämän takia mallin implementoinnissa on otettava huomioon myös suunnittelun ulkopuoliset toimijat. Esimerkiksi analyysien tekemiseen tarvittavien käyttökokemustietojen saaminen suunnittelijoiden käyttöön edellyttää monien eri tahojen välistä yhteistyötä ja yhteisten käytäntöjen soveltamista läpi koko organisaation.

## 5.2 RAMS -suunnitelman laatiminen

Standardin SFS-EN 60300-1 liitteessä B on esitetty luotettavuuden hallinnan prosessivaiheisiin liittyvien toimintojen järjestys (kts. kuva 9, s.21). Tämän mallin pohjalta on kehitetty tuotekehitysprojektille turvallisuus- ja luotettavuussuunnitelman laatimiseen seuraavanlainen ”road map”:

1. RAMS -tavoitteet
  - Nykytila vs. tavoite
  - Analysoi työn laajuus
    - + vaikutukset(resurssit)
    - + alustava kustannus-hyöty -tarkastelu
  - Käyttövarmuus- ja turvallisuusvaatimusten asettaminen/allokointi → RAMS -speksi
2. Toimenpiteiden tunnistaminen RAMS -tavoitteiden saavuttamiseksi
  - Valikoima menetelmiä

### 3. Muutosten toteutus

- Strategia, keinot → kustannus-hyöty -tarkastelu
- Analyysien perusteella
- Analyysien päivitys

### 4. Muutosten vaikutusten ja tavoitteiden toteutumisen todentaminen

Inkrementaalista tuotekehitystä tehtäessä, on RAMS -tavoitteiden suunnittelussa aivan ensimmäiseksi selvitettävä käyttövarmuuden ja turvallisuuden nykytila. Tämän jälkeen on pohdittava sitä, mikä on tavoiteltava luotettavuus- ja turvallisuustaso. Tavoitteiden saavuttamiseksi tehtävän työn laajuutta analysoitaessa on pohdittava tehtävän työn vaikutuksia ja toisaalta työn tekemiseen varattavia tai käytettäviä resursseja. Tämä onnistuu parhaiten vertailemalla alustavasti käyttövarmuuden ja turvallisuuden parantamiseksi käytettävien kustannusten suhdetta niistä saataviin tuottoihin elinkaaritasolla.

RAMS -suunnitelmaa laadittaessa on mietittävä ne toimenpiteet, joita tavoitteiden saavuttaminen edellyttää. Toisaalta on myös pohdittava, millaisilla menetelmillä tunnistetaan käyttövarmuuteen ja turvallisuuteen vaikuttavat tekijät kussakin järjestelmässä. Luotava työkalupakki on oltava riittävän laaja, jotta sen avulla voidaan mahdollisimman kattavasti selvittää kaikki ne tekijät, jotka vaikuttavat järjestelmän kokonaisluotettavuuteen ja turvallisuuteen.

Muutosten toteutus tässä kontekstissa tarkoittaa lähinnä tuotekonseptien luomista varsinaisen tuotekehityksen pohjaksi. Muutosten toteuttamisen lähtökohdaksi on hyvä luoda strategia siitä, miten muutokset toteutetaan. Lisäksi on pohdittava niitä keinoja, joilla strategian mukaiset päätökset saatetaan voimaan. Tässäkin vaiheessa keinojen arvioimiseen on syytä käyttää kustannusten ja saavutettavien hyötyjen suhteen tarkastelua. Aiemmin määritellyillä analyyseillä selvitetään paitsi niitä muutoksia, joita järjestelmään on tehtävä, myös näiden tehtyjen muutosten vaikutuksia. Kun muutokset tehdään analyysitulosten pohjalta ja muutosten vaikutukset analysoidaan vielä jälkeinpäin, saavutetaan parempi varmuus tehtävien muutosten hyvydestä.

Lopuksi saavutetut RAMS -vaikutukset on syytä vielä kerran arvioida kokonaisuutena. Samalla on myös todennettava, että kaikki asetetut tavoitteet on saavutettu tehdyillä muutoksilla. Lisäksi on pohdittava, löytyisikö vielä mahdollisia jatkoparannustoimenpiteitä tehtäviksi joko heti tai myöhemmässä vaiheessa.

## 5.3 Suunnittelun alkupään RAMS -tehtävät

Taulukkoon 1 on koottu kuhunkin tässä työssä tunnistettuun tuotekehityksen alkupään vaiheeseen liittyvät RAMS -tavoitteet, vaiheen syötteet, tärkeitä tehtäviä, esimerkkejä mahdollisista analyysimenetelmistä sekä vaiheen tuotokset. Taulukko on linjassa luodun mallin kanssa, ja se pitääkin nähdä mallin käyttöä helpottavana lisänä, eikä erillisenä työkaluna.

**Taulukko 1. Suunnittelun alkupään RAMS -tehtävät**

| Vaihe  | Vaiheen RAMS -tavoite  | Syötteen   | Tehtäviä  | Esimerkki-menetelmät       | Tuotokset   |
|--|--|--|---|----------------------------|---|
| <b>Villi ideointi</b>  |  | Asiakkaiden ideat<br><br>Markkinatutkimukset<br><br>Tunnistettut muutokset lainsäädännössä<br><br>Yrityksen sisältä tulleet ideat<br><br>yms.                  | Kaikkien, myös hylättyjen ideoiden dokumentointi ja arkistointi   |                            | Kehitettävät ideat<br><br>Periaatepäätös esisuunnittelun aloittamisesta   |
| <b>Asiakastarpeiden ja vaatimusten tunnistaminen, sekä idean soveltuvuus yrityksen strategiaan</b> | Ideoihin liittyvien onnettomuusvaarojen tunnistaminen<br><br>RAMS -näkökohtien tunnistaminen | Kehitettävät ideat<br><br>Asiakasvaatimukset<br><br>Yrityksen strategia<br><br>Aiempien vastaavien laitteiden kokemukset (kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset) | RAMS -kriteeristön ja vaatimuslistan tekeminen järjestelmätasolla<br><br>Tavoitetilan ja nykytilan erojen hahmottaminen | POA<br><br>RAMS -aivoriihi | Alustava vaaraluettelo valituille tuoteideoille<br><br>Alustava luettelo koko järjestelmän RAMS -vaatimuksista<br><br>Koko järjestelmän vaatimuslista |

| Vaihe   | Vaiheen RAMS - tavoite   | Syötteet   | Tehtäviä  | Esimerkki- menetelmät | Tuotokset   |
|---|--|--|---|-----------------------|---|
| <b>Tavoitespesifikaatioiden luominen ja vaatimusten asettaminen</b> | <p>Yleisten käyttövarmuus- ja turvallisuusvaatimusten laatiminen</p> <p>RAMS - näkökohtien käsitte- lyn todentaminen</p> | <p>Alustava luettelo järjestelmätason RAMS - vaatimuksista</p> <p>Alustava vaaraluettelo kelpuutetuille tuotteidoille</p> <p>Käyttöympäristön asettamat erityisvaatimukset</p> <p>Standardit ja viranomaismääräykset</p> | <p>Vaatimusten lähteiden selvittäminen</p> <p>RAMS -vaatimusten asettaminen järjestelmätasolla</p> <p>Käyttövarmuusvaatimusten toteutumisen mahdollisuuksien pohdinta</p> | <p>Tarkistuslista</p> | <p>Järjestelmätason RAMS - spesifikaatiot ja - vaatimukset</p> <p>Täydennetty koko järjestelmän vaatimuslista</p> <p>Dokumentoidut päätökset hylätyistä ja haltuun pistetyistä ideoista</p> |
| <b>Vaihtoehtoisten tuotekonseptien luominen järjestelmätasolla</b>  | <p>Eri konseptivaihtoehtoihin liittyvien vaarojen tunnistaminen</p>  | <p>Järjestelmätason RAMS -spesifikaatiot ja vaatimukset</p> <p>Tuotteeseen liittyvä liiketoimintamalli (laite toimitus vs. elinkaari- palveluiden myynti)</p> <p>Vaatimuslista</p>                                       | <p>Järjestelmätason konseptien luominen</p> <p>Konseptien vaaraluetteloiden tekeminen</p>   | <p>PHA</p>            | <p>Järjestelmätason konseptivaihtoehdot</p> <p>Järjestelmätason konseptien vaaraluettelo</p> <p>Dokumentti hylättyjen ja sivuun laitettujen ideoiden osalta</p>                             |

| Vaihe   | Vaiheen RAMS -<br>tavoite  | Syötteet   | Tehtäviä   | Esimerkki-<br>menetelmät   | Tuotokset   |
|---|--|--|--|--|---|
| <b>Järjestelmätason<br/>konseptin valinta ja<br/>vaatimusten allokoin-<br/>ti osajärjestelmille</b> | <p>Osajärjestelmien tunnistaminen ja RAMS -vaatimusten allokointi</p> <p>Konseptivaihtoehtoihin liittyvien riskien arviointi</p> | <p>Vaaraluettelot</p> <p>Järjestelmätasoiset konseptivaihtoehdot</p> | <p>Osajärjestelmien tunnistaminen</p> <p>Osajärjestelmien kriittisyyden arviointi</p> <p>Osajärjestelmien luontaisen luotettavuuden arviointi</p> <p>Osajärjestelmien RAMS -vaatimusten asettaminen</p> <p>Käyttövarmuuden osatekijöiden pohtiminen tuotteen kannalta</p> <p>Ratkaisujen vertaaminen kustannus-hyöty-analyysillä</p> | <p>VVKA (toiminnallisella tasolla)</p> <p>Kustannus-hyöty-analyysi</p> | <p>Osajärjestelmäkohtaiset RAMS -vaatimukset</p> <p>Osajärjestelmien kriittisyysarviot</p> <p>Allokoidut osajärjestelmävaatimukset</p> <p>Järjestelmätason konsepti</p> <p>Dokumentti valitsematta jääneistä konsepteista</p> |



| Vaihe   | Vaiheen RAMS -tavoite   | Syötteet  | Tehtäviä   | Esimerkki-menetelmät  | Tuotokset   |
|---|---|---|--|---|---|
| <b>Osajärjestelmätason konseptien luominen ja valinta</b> | <p>Konseptivaihtoehtojen tapaturmavaarojen ja käyttövarmuuteen liittyvien vaarojen tunnistaminen</p> <p>RAMS -tekijöiden kannalta optimaalimpien osajärjestelmien valinta</p> | <p>Osajärjestelmäkohtaiset RAMS -vaatimukset</p> <p>Osajärjestelmien kriittisyysarviot</p> <p>Allokoidut osajärjestelmävaatimukset</p> <p>Järjestelmätason konsepti</p> | <p>Toteutustapojen valinta tunnistetuille osajärjestelmille</p> <p>Osajärjestelmien yhteensopivuuden varmistaminen</p> <p>Mahdollisten uusien teknologioiden hyödyntämiseen liittyvien riskien tunnistaminen</p> | <p>TTA</p> <p>VVKA (osajärjestelmien toiminnolle)</p>                 | <p>Dokumentti tunnistetuista tapaturmavaaroista ja käyttövarmuuteen liittyvistä vaaroista</p> <p>Uuden teknologian käyttöön liittyvät riskit -dokumentti</p> <p>Dokumentti valitsematta jääneistä konsepteista</p> <p>Osajärjestelmätasoinen konsepti</p> |
| <b>Lopulliset spesifikaatiot ja projektin suunnittelu</b> | Asetettujen RAMS -vaatimusten toteutumisen todentaminen   | Osajärjestelmätasoinen konsepti   | <p>Tehtävien ja niihin liittyvien virhemahdollisuuksien tunnistaminen</p> <p>Kunnossapidon näkökulmien pohdinta</p>  | <p>Vikapuut (kvalitatiivinen)</p> <p>HRA (2 ensimmäistä vaihetta)</p> | <p>Lopulliset RAMS -spesifikaatiot tuotekehityksen tueksi</p> <p>Vaaraluettelo</p> <p>Raportit tehdyistä analyyseistä</p>   |

| Vaihe | Vaiheen RAMS -<br>tavoite | Syötteet | Tehtäviä | Esimerkki-<br>menetelmät                        | Tuotokset  |
|-------|---------------------------|----------|----------|---|--|
|       |                           |          |          | <p>Kunnossa-<br/>pidon tar-<br/>kistuslista</p> | <p>Koneen käyttö- ja huolto-<br/>konsepti</p> <p>Koneen vaatimuksiin liit-<br/>tyvien muutosten listaus</p> <p>RAMS -<br/>toimintasuunnitelma</p> <p>Suunnitelma tuotekehi-<br/>tysprojektin jatkosta</p> <p>Päätös tuotekehitysprojek-<br/>tin aloittamisesta</p> |

## 6 MALLIN VALIDOINTI

RelSteps -hankkeessa mallin käyttökelpoisuutta on tarkoitus arvioida oikeissa yritys-caseissa. Diplomityön aikana mallin validointi tavoitteen mukaisella tavalla ei aikataulusyistä johtuen ollut mahdollista. Mallin toimivuutta arvioitiin teollisuusyrityksissä tehdyissä haastatteluissa sekä asiantuntijaryhmässä. Haastatteluiden tavoitteena oli selvittää mahdollisuus mallin käytännön soveltamiseen. Saadun palautteen perusteella malliin on mahdollista tehdä pieniä parannuksia. Merkittävimmät muutostarpeet nousevat esille vasta varsinaisessa validointiprosessissa, jotka tehdään RelSteps -hankkeen kolmannessa vaiheessa.

Teollisuusosapuolten haastatteluissa käytettiin pohjana seuraavia kysymyksiä:

- 1) Miten näette kehitetyn mallin yleisesti ottaen, mitä parannettavaa/lisättävää siihen olisi?
- 2) Mitä hyötyjä nykyisiin käytäntöihin nähden voisi tämän työn pohjalta saada?
- 3) Onko jotain, mikä estää mallin käyttämisen käytännössä?
- 4) Vastaavatko mallin vaiheet tuotekehitysprosessin alkua yrityksessä? Onko varsinaisen tuotekehityksen edeltäviä vaiheita (fuzzy-front-end) yleensä mallinnettu/kuvattu yrityksessänne?
- 5) Onko mahdollisesti jotain, mikä estää standardien esittämien toimintamallien toimenpiteiden implementoinnin käytännön prosesseihin? Onko siis jotain käytännön esteitä, joita ei ole otettu huomioon standardien ihannemaailmassa verrattuna reaali maailman haasteisiin?
- 6) Tukevatko mallin eri osat mielestänne hyvin toisiaan (kuva, ”road map”, taulukko)?
- 7) Muita huomioita konstruktion eri osista?

Lisäksi haastatteluista pyydettiin julkaisulupa.

### 6.1 Yritys 1

Ensimmäisessä yrityksessä käydyssä validointikeskustelussa haastateltiin suomalaisen maailmanlaajuisesti toimivan pörssiyrityksen luotettavuusasiantuntijaa. Huhtikuussa 2011 käydyn keskustelun lisäksi haastateltava vastasi samoihin kysymyksiin vielä kirjallisesti sähköpostilla.

Keskustelussa esiteltiin ensimmäisenä diplomityössä luodut konstruktiot ja käytiin ne läpi kohta kohdalta. Esittelyn jälkeisessä keskustelussa yrityksen edustaja kertoi mielipiteensä eri konstruktion osista, sekä antoi kehitysehdotuksia oman yrityksensä näkökulmasta. Haastateltavan mielestä on erittäin hyvä keskittyä nimenomaan tuotekehityspro-

sessin alkuvaiheisiin ja siellä tehtäviin päätöksiin sekä karsintaprosessiin. Kyseisiä kuvauksia ei haastateltavan mukaan yrityksissä ole käytännössä tehty tai ne on kuvattu karkealla tasolla. Haastateltavan näkemykset tukevat olettamusta, jonka mukaan varsinaiseen tuotekehitysprosessiin asti edenneet ideat on käytännössä vietävä loppuun asti. Toisin sanoen kun prosessi lähtee liikkeelle, ei sitä enää kovinkaan helposti voida pysäyttää. Tämä korostaa karsintaprosessin tärkeyttä esisuunnitteluvaiheessa.

Käydyn keskustelun perusteella konstruktion tehtiin pieniä muutoksia. Muutoksia tehtiin lähinnä suunnittelun alkupään RAMS -tehtäviä kuvaavaan taulukkoon. Erityisesti taulukon toivottiin kuvaavan selkeämmin idean läpivirtausta prosessissa. Tämä on toteutettu tarkentamalla vaiheiden syötteitä ja tuotoksia. Muutoin taulukkoesitystä pidettiin selkeänä tapana esittää esisuunnittelun vaiheet ja niihin liittyvät tavoitteet, syötteet, tehtävät, menetelmäesimerkit sekä tuotokset.

Keskustelussa korostui vaatimusten asettamisen vaikeus globaalisti toimivissa yrityksissä. Haasteina todettiin eri lähteistä tulevien vaatimusten mahdollinen ristiriitaisuus ja mitattavuuden vaikeus. Olisi siis tärkeätä standardisoida ja siten yhteismitallistaa kriteerit, joilla arvioidaan vaatimusten toteutumista. Toisaalta pitäisi jollakin järkevällä tavalla kytä taulukoimaan tai muulla tavoin havainnollisesti esittämään eri vaatimusten asettajat.

Yrityksessä on käytännössä koettu tärkeäksi dokumentoida ennen varsinaisen tuotekehitysprosessin alkua suunnitelma, josta selviää esimerkiksi mitä testataan, miten toteutetaan testaus sekä kuinka jäännösriskejä hallitaan. Lisäksi suunnitelmassa on syytä mainita miten riskeihin vastataan, kauanko eri RAMS -näkökohtien kuntoon saattamisessa menee aikaa ja mitkä ovat näistä toimista aiheutuvat kustannukset. Suunnitelman avulla on mahdollista osoittaa organisaation ja tuotekehitysprojehtin eri osapuolille ne hyödyt ja toisaalta kustannukset, jotka RAMS -näkökohtien huomioon ottamisella on kokonaisuuden kannalta. RAMS -suunnitelma liitettiin keskustelun tuloksena mallin viimeisen vaiheen tuotokseksi.

Kaiken kaikkiaan luotu malli sai positiivisen vastaanoton. Erityistä kiitosta malli sai koko elinkaareen vaikuttavien päätösten huomioonottamisesta. Yrityksen puolelta todettiin, että valistuneimmat asiakkaat osaavat jo kiinnittää huomiota ja vaatia tietoa koko elinkaarta koskevista luotettavuus- ja kustannustiedoista pelkän hankintahinnan sijaan. Lisäksi positiivisena pidettiin sitä, että mallissa keskitytään hyvin vaatimusmäärittelyyn ja riskien esille tuomiseen, mikä helpottaa varsinaisen tuotteen tai palvelun tai palvelun tuotekehityksen aikaista verifointisuunnittelua. Taulukkoesitystä pidettiin hyvänä tapana mallin tiivistämiseen. Mahdolliseksi kehityskohteeksi haastateltava nimesi sen, että mallia voitaisiin edelleen yksinkertaistaa esimerkiksi vaiheita yhdistelemällä. Haastateltava huomautti, että hänen mielestään mallin implementointi edellyttää kunnossapidon

ammattilaisen osallistumista sekä implementointiprojektiin että yksittäisiin tuotekehitysprojekteihin, joissa mallia hyödynnetään.

## 6.2 Yritys 2

Toisessa mallin validoimiseksi käydyssä keskustelussa haastateltiin Cargotec Oyj:n asiantuntijaa Sakari Koivumaata. Cargotec toimittaa lastinkäsittelyratkaisuja laivoihin, satamiin, terminaaleihin ja lähikuljetuksiin. Vuonna 2010 Cargotecin liikevaihto oli 2,6 miljardia euroa ja henkilöstöä yrityksellä oli maailmanlaajuisesti noin 10 000. (Cargotec Oyj 2011)

Cargotecissa on käynnissä tuotekehitysprosessin uudistaminen, joten mallissa käsitelty aihe on heille varsin ajankohtainen. Haastateltavan näkemys oli, että voisi olla erittäin hyvä jos uutta prosessikuvausta tekevät pääsisivät tutustumaan diplomityössä luotuun malliin. Tällöin mallia voitaisiin verrata yrityksen prosessikuvaukseen ja löytää sen avulla mahdollisia puutteita ja tunnistaa kehityskohteita. Yrityksessä ollaan siirtymässä kohti Stage-Gate<sup>®</sup> -tyyppistä prosessikuvausta, mikä entisestään tukee diplomityössä luodun mallin sopivuutta yrityksen omiin tarkoituksiin. Prosessikuvauksen uudistaminen ei ole vielä valmis, mutta on oletettavaa, ettei tuotekehityksen alkuvaiheita ole kuvattu aivan tässä työssä esitetyllä tarkkuudella ja yhtä monivaiheisena.

Yleisesti ottaen diplomityössä luotu malli sai positiivisen vastaanoton. Yrityksen edustajan puolelta todettiin, että mallissa on keskitytty oikeisiin asioihin ja mallin esitystapa on johdonmukainen. Todettiin, että kuva visualisoi kokonaisuuden ja taulukko antaa siihen sisältöä. Mallissa on jaettu tuotekehityksen alku useaan vaiheeseen sekä hahmoteltu kuhunkin vaiheeseen liittyviä RAMS -tehtäviä ja -näkökulmia. Mallin johdonmukainen lähestymistapa tukee hyvin sitä että tuotekehitystä tehtäisiin formaalisti ja dokumentoidusti jo aivan ensi vaiheista alkaen.

Keskustelun aikana todettiin, että työkonesektorilla on erilaisia ja eriasteisia tuotekehitysprojekteja, mutta erittäin suurilta osin tuotekehitys on kuitenkin inkrementaalista. Cargotecilla on käytäntö, jossa tuotekehitysprojektit pisteytetään muun muassa sen mukaan, onko kyseessä inkrementaalinen vai radikaali tuotekehitystyö. Haastateltavan mukaan olisikin syytä pohtia sitä, kuinka malli on sovellettavissa erilaisissa tuotekehitysprojekteissa. Esitetyssä muodossaan mallia pidettiin turhan raskaana olemassa olevan tuotteen kehityksessä.

Eri yritysten erilaisista käytännöistä johtuen mallia olisi hyvä katsoa erikseen kunkin yrityksen kohdalla. Malli sinällään sisältää ne elementit, jotka tuotekehitysprosessin alussa on syytä RAMS -asioiden kannalta ottaa huomioon. Mallin muotoa olisi kuitenkin hyvä mukauttaa kunkin yrityksen osalta erikseen. Cargotecin edustaja toivoi, että

mallia päästäisiin jossain vaiheessa testaamaan konkreettisten casejen avulla, hänen mielestään se voisi viedä asiaa eteenpäin koko alalla.

Keskustelussa kävi ilmi, että käyttövarmuus terminä ymmärretään sekä yrityksen sisällä että erityisesti asiakaskunnassa monella eri tavalla. Tämän takia pidettiin tärkeänä, että käyttövarmuus on määritelty työssä tarkasti ja standardeihin perustuen. Käyttövarmuustermin erilaiset tulkinnat asiakkaiden keskuudessa saattaa aiheuttaa sen, että asiakkaalta tulevat käyttövarmuutta tai luotettavuutta koskevat vaatimukset saattavat olla vahvasti ristiriitaisia. Haastattelussa esitetyn näkemyksen perusteella asiakkaiden käsitykset esimerkiksi toimintavarmuuden ja käyttövarmuuden välisestä hierarkiasta saattaa olla käsitetty täysin päinvastaisesti tässä työssä esitettyyn määritelmään nähden. Cargo-tecilla käyttövarmuus on määritelty samoin kuin tässä työssä ja IEC-60300 -standardiperheessä.

Lisäksi käyty keskustelu tuki käsitystä siitä, että turvallisuus nähdään yrityksissä paremmin hoidettuna kokonaisuutena verrattuna käyttövarmuuteen. Suurin syy tähän on se, että turvallisuuden kehitystä ajavat viranomaismääräykset ja lait.

### 6.3 Asiantuntijaryhmä

Teollisuustoimijoiden lisäksi mallin validoinnissa käytettiin myös asiantuntijanäkökulmaa. Asiantuntijajoukko koostui 6:sta VTT:n luotettavuuden ja järjestelmäturvallisuuden erikoisosaajasta. Heidän näkemyksiään määritettiin erikseen järjestetyssä keskustelutilaisuudessa, jossa ensin esiteltiin tehty malli ja tämän jälkeen käytiin keskustelua sen hyvistä ja huonoista puolista. Tällä menettelyllä validointiprosessiin saatiin erilaisia näkökulmia. Tutkijat antoivat lisänäkemystä erityisesti teoreettiseen taustaan peilaten, sekä hieman eri perspektiivistä asioita tarkastelleen kuin teollisuusyritysten käyttövarmuusasiantuntijat.

Asiantuntija-arviossa todettiin, että usein ohjelmistoja koskevan V-mallin lainalaisuudet pätevät hyvin myös työkonepuolella. Muutenkin ohjelmistojen ja liikkuvien työkonien suunnittelun välillä on yhtäläisyyttä. Ohjelmistojen puolellakin merkittävimmät päätökset tehdään aivan kehittelyn alussa. Uusimpien tutkimusten (esimerkiksi Malm et al. 2011) mukaan merkittävimmät virhelähteet ohjelmistosuunnittelussa ovat vaatimusmäärittely- ja suunnitteluvaiheessa. Tämäkin poikkitieteellinen näkemys suunnitteluun tukee käsitystä siitä, että esisuunnitteluun käytettävät resurssit maksavat itsensä takaisin pitkällä aikavälillä.

Käydyssä keskustelussa todettiin, että mallin tehtäviin olisi hyvä lisätä mahdollisten uusien teknologioiden hyödyntämiseen liittyvien riskien tunnistaminen. Lisäksi keskustelussa nousi esille muutamia lähinnä ilmaisullisia kehittämiskohteita, jotka soveltuvilta osin on muutettu.

Keskusteluun osallistuneiden tutkijoiden näkemykset olivat varsin yhteneviä teollisuuden edustajien antamien kommenttien kanssa. Käydyn keskustelun perusteella yrityskohtaisia malleja luotaessa olisi kiinnitettävä huomiota päätöksiin sekä tehtäviin liittyvien vastuutahojen nimeämiseen. Toisaalta todettiin, ettei vastuiden kohdentaminen ole järkevää tai edes mahdollista tällaisessa yleisluontoisessa mallissa, joka diplomityössä on luotu. Samoin vaatimusten jäljitettävyyteen ja hallittavuuteen liittyvät kommentit olivat varsin yhteneviä teollisuuden näkökulman kanssa.

Käydyssä keskustelussa todettiin, että on mahdollista, että eri aloilla luotettavuuteen liittyvät termit määritellään jokseenkin eri tavoin. Tällöin pidettiin tärkeänä termistön määrittelyä yksiselitteisesti standardeihin perustuen. Haastateltujen tutkijoiden mielestä tämä on diplomityössä tehty hyvin.

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

Diplomityön tavoitteeksi asetettiin suunnittelun alkupään vaiheita tukevan RAMS -hallintamallin luominen liikkuvia työkoneita suunnittelevien yritysten avuksi. Mallin tavoitteena oli muodostaa esimerkkikuvaus siitä, kuinka RAMS -hallintaa on mahdollista toteuttaa tehokkaasti ja systemaattisesti jo suunnittelun alusta alkaen.

Diplomityössä luotu hallintamalli on kolmiosainen konstruktio, jossa eri osat tukevat toisiaan. Ensimmäinen osa, RAMS -hallintamallin kuvaus, antaa kokonaiskuvan tuotekehityksen alkupään vaiheista ja kehitettävän idean virtauksesta läpi prosessin. Kuvaa selittävässä osassa kerrotaan tarkemmin eri vaiheisiin liittyviä toimenpiteitä sekä yleisiä mallia koskevia tarkennuksia. Toinen osa, RAMS -suunnitelman laatimisohteet, antaa yleiskuvan niistä merkittävimmistä seikoista, jotka on huomioitava erityisesti inkrementaalista tuotekehitysprojektia suunniteltaessa. Kolmas osa, ”suunnittelun alkupään RAMS -tehtävät” -taulukko, kokoaa yhteen esisuunnitteluun ja sen kuhunkin vaiheeseen liittyvät RAMS -tavoitteet, syötteet, tehtävät, esimerkkimenetelmät sekä tuotokset.

Saadun palautteen perusteella luotu malli tukee varsin hyvin oletettua tuotteen kehitysprosessin alkupäättä. Empirian, eli haastatteluaineistojen, ja teorian synteessinä konstruoitu malli ottaa huomioon sekä teoreettiset lainalaisuudet että teollisessa reaali maailmassa vallitsevat pullonkaulat. Tällä on pyritty varmistamaan se, että malli ottaa huomioon sekä akateemiset että käytännön näkökulmat, jotka voivat joissain tilanteissa olla selkeästi erilaisia. Aina ei kuitenkaan ole täysin selvää vastausta siihen, kumman näkökulma on oikeampi. Enemmänkin kyse on siitä, voisiko molempia näkökulmia tarkastelemalla ja yhdistelemällä löytyä toimintatapoja, jotka olisivat kulloisenkin tilanteeseen tehokkaimmat.

Diplomityön varsinaisena tilaajana toimi Teknologian tutkimuskeskus VTT, mutta välillisesti työ on tehty suomalaisen työkoneteollisuuden tilauksesta. Tällöin työn toimeksiantajana voidaan näkökulmasta riippuen nähdä joko VTT tai RelSteps -hankkeessa mukana olevat yritykset. Näin ollen myös työn lopputuloksen arvioinnissa on otettava huomioon sekä VTT:n että teollisuuden näkökulma.

Käytyjen validointikeskustelujen perusteella voitaneen todeta, että diplomityössä konstruoitu malli jo sinällään keskittyy niihin tunnistettuihin ongelmakohtiin, joita yritykset kohtaavat tuotekehityksen alkuvaiheissa. Mallin esitystapaa on myös pidetty johdonmukaisena ja suunnittelun alkupään vaiheita sekä niihin liittyviä tehtäviä selkeyttävänä.



Alkuoletuksena oli, että liikkuvien työkoneneiden suunnittelun alkuvaiheet eroaisivat jokseenkin merkittävästi muusta tuotekehityksestä. Tutkitun perusteella näin ei välttämättä kuitenkaan ole. Pohdittaessa luodun konstruktion sovellettavuuden laajuutta voidaan havaita, että tässä diplomityössä syntynyt malli onkin pienillä muutoksilla sovellettavissa erilaisten kunnossapidettävien järjestelmien tuotekehityksen alkuvaiheiden RAMS -hallinnassa. Mallin soveltamiselle on olemassa hyvät lähtökohdat erityisesti sellaisten monimutkaisten systeemien suunnittelussa, jotka koostuvat useammasta eri osajärjestelmästä. Lisäksi näin yksityiskohtaista mallia ei liene järkevää soveltaa pientä alkupääomaa ja vähän resursseja sitovassa tuotekehityksessä. Mallin soveltamisessa on toki otettava huomioon kunkin tuotekehitysprojektin erityispiirteet, ja niiden mukanaan tuomat reunaehdot.

Tässä työssä konstruoitua mallia voidaan soveltaa sekä yrityksen sisäisessä kehitysprojektissa, jossa luodaan tai täydennetään yrityksen tarjoomaa että toimitusprojekteihin, joissa tuotekehitystä tehdään valmiin tuoteportfolion ulkopuolelta suoraan asiakkaan vaatimuksesta. Mallin hyödyntäminen ei siis ole riippuvainen siitä, onko yrityksessä eriytetty tuotekehitys- ja toimitusprojektit erillisiksi toiminnoiksi.

Pohdittaessa diplomityön tulosten luotettavuutta, on kiinnitettävä huomiota muutamiin epävarmuutta aiheuttaviin seikkoihin. Ensinnä on todettava, että diplomityö tehtiin osana RelSteps -hanketta, joten käytetty haastatteluaineisto on kerätty hankekokonaisuuden kannalta, eikä diplomityön tavoiteasetannan näkökulmasta. Tästä syystä haastatteluista saatuja tietoja on poimittu erilaisten vastausten joukosta. Se, ettei diplomityöhön suoraan liittyviä kysymyksiä ole esitetty haastateltaville ja haastatteluiden vastauksia on jälkikäteen tulkittu haastattelumuistioden perusteella, saattaa heikentää tulosten luotettavuutta. Toisaalta eri haastattelukierrosten välillä on vastauksissa nähtävissä paljon yhtäläisyyttä, mikä tukee tulkintojen luotettavuutta. Lisäksi aikataulusyistä johtuen mallin arviointi on jäänyt hieman pintapuoliseksi ja suppealla joukolle toteutetuksi. Teollisuuden suunnalta saatu palaute on kuitenkin ollut varsin positiivista, mikä vahvistaa sitä näkemystä, että työssä on onnistuttu vastaamaan niihin haasteisiin, joita tuotekehityksen alkupäässä on tunnistettavissa.

Pelkän toimintamallin luominen ei vielä millään tavoin paranna yritysten toimintaa tai lisää yritysten kilpailukykyä. On täysin yhdentekevää, toimiiko luotu malli periaatteessa vai ei, jos mallissa ehdotettua toimintatapaa ei saada implementoitua kiinteäksi osaksi yritysten käytäntöjä. Toisaalta yritysten on käytettävä resursseja toimintamallin käyttöönottoon, sillä tällainen yleiseksi luotu malli ei varmasti suoraan istu yhdenkään yrityksen toimintamalliksi sellaisenaan. Yritysten sisällä onkin mietittävä, miten luotua mallia sovelletaan, jotta se sopisi osaksi yrityksen toimintatapoja. Implementoinnissa on otettava huomioon yrityksen kaikki toimijat. Toimintatapojen muutos edellyttää kaikkien tasojen sitoutumista.

Paras tapa toimintamallin implementoimiseksi voisi olla erillinen tutkimuslaitoksen kanssa yhteistyössä tehtävä yritys-case. Tällaisen yritys-casen aikana olisi mahdollista luoda yleisen mallin pohjalta yrityskohtainen malli. Ulkopuolisen näkökulman mukaan ottaminen implementoimisprosessiin auttaa näkemään yrityksessä vallitsevien käytäntöjen ja paperille kirjoitettujen toimintatapojen erot. Samalla yritys-casessa voisi olla paikallaan pohtia olemassa olevien toimintatapojen soveltuvuutta palveluliiketoiminnan kehittyessä.

Diplomityössä on jo olemassa olevia tietoja hyväksi käyttäen ja uudelleen yhdistelemällä konstruoitu toimintamalli. Tämä malli ja sen kehittämisessä käytetty sekä teoreettinen että empiirinen aineisto, ja erityisesti niiden yhdistäminen toisiinsa, muodostavat sen uutuusarvon, joka diplomityön tekemisellä on saavutettu. Näin ollen diplomityön akateeminen lisäarvo ei perustu sinällään uuden, esimerkiksi teorian keksimiseen, vaan jo olemassa olevien tietojen uudelleen järjestelemiseen.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä diplomityössä kehitettiin malli, jonka avulla RAMS -hallinta pystytään liittämään osaksi suunnitteluprosessin alkuvaiheita. Mallin avulla liikkuvien työkonoiden valmistajien tai koneita suunnittelevien yritysten on mahdollista toteuttaa käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallintaa systemaattisesti ja tehokkaasti suunnittelun alusta alkaen.

Työssä luotu malli on yksityiskohtainen kuvaus tuotekehityksen alkuvaiheista ja niihin liittyvistä RAMS -hallintakeinoista. Se koostuu kolmesta erillisestä toisiaan tukevasta osasta. Ensimmäinen osa kuvaa tuotekehityksen alkuvaiheita ja antaa yleiskäsityksen prosessin etenemisestä. Toisessa osassa annetaan ohjeet RAMS -suunnitelman laatimiseksi erityisesti inkrementaalisen tuotekehitysprojektin suunnitteluun. Viimeisessä osassa on taulukkomuodossa esitetty kuhunkin tuotekehityksen alkupään vaiheeseen liittyvät RAMS -tavoitteet, syötteet, tehtävät, esimerkkimenetelmät sekä tuotokset.

Luotu malli on työkonemaailmalle yleisluontoinen, eikä se todennäköisesti sovellu sellaisenaan suoraan käytettäväksi yrityksissä. Lisätutkimusta tarvitaankin erityisesti yrityskohtaisten mallien rakentamiseksi tässä työssä luodun mallin pohjalle sekä mallin toimivuuden testaamiseksi. Malliin tehtiin pieniä muutoksia käytyjen arviointihaastattelujen perusteella. Luotua mallia ja sen käytännön toimivuutta on kuitenkin syytä testata vielä RelSteps -hankkeen puitteissa.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että ennen varsinaista tuotekehitystä tehtävät päätökset ovat merkittävimpiä sen suhteen, kuinka hyvä suunniteltavasta tuotteesta lopulta tulee. Nämä päätökset myös määrittelevät erittäin voimakkaasti sen, millaisia elinkaaren aikaisia kustannuksia ja hyötyjä syntyy. RAMS -hallintaan vahvasti liittyvä elinkaaren aikaisten kustannusten ja hyötyjen arvioiminen on sekä toimittajien että asiakkaiden etujen mukaista. Tämän ajatuksen selkeämpi viestiminen molempiin suuntiin on olennaista, jotta päästäisiin eroon tilanteesta, jossa asiakas tekee konehankinnat lyhytnäköisesti pelkän hankintahinnan perusteella. Jotta tämä muutos olisi mahdollinen, on kunnossapidettäviä järjestelmiä toimittavien tahojen kyettävä aiempaa selkeämmin ja varmemmin osoittamaan koko elinkaareen liittyvät kustannukset ja hyödyt.

Tutkimuksen mukaan työkonesektorilla tapahtuvaksi oletettu liiketoimintamallien muutos laitetoimittajasta kohti palveluliiketoimintaa on vielä käytännön tasolla kesken. Yritysten tavoitteissa ja strategioissa tarve muutokselle on kuitenkin jo huomioitu. Samoin yritysten käytännöt RAMS -näkökulmien huomioimiseksi tuotekehityksen alkuvaiheissa ovat vajavaisia, ja niihin panostamiselle on olemassa tarve.

## LÄHTEET

Apilo, T. & Taskinen, T. 2006. VTT tiedotteita 2330: Innovaatioiden johtaminen. Espoo, Otamedia Oy. 62 s.

Cargotec Oyj. 2011. Cargotec Oyj kotisivut. [WWW]. [viitattu: 14.4.2011]. Saatavissa: <http://www.cargotec.fi/cms/cargocms20.nsf/Documents/DB4D8DED8D1A3D15C2256FDB003E43C5?openDocument&lang=2>

Cooper, R. G. 2005. New Products - What Separates the Winners from the Losers and what Drives Success. In: K. B. Kahn, The PDMA Handbook of New Product and Development (2nd edition). Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc. ss. 3-28.

Cooper, R. G. 2001. Winning at new products: Accelerating the process from idea to launch (3th edition). New York, Basic Books. 425 s.

Cooper, R. G., Edgett, S. J. & Kleinschmidt, E. J. 2002. Optimizing the Stage-Gate Process: What Best-Practice Companies Do - II. Research Technology Management , 45 (6), ss. 43-49.

Dhillon, B. S. 1999. Design Reliability - Fundamentals and Applications. CRC Press LLC. 396 s.

EN-50126. 1999. Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). European Committee for Electrotechnical Standardization - CENELEC. 76 s.

Grönroos, C. 2009. Palvelujen markkinointi ja johtaminen (alkuperäisteos Service management and marketing, customer management in service competition) 4. painos. (M. Tillman, suomentaja) Juva, WS Bookwell Oy. 565 s.

Hammer, W. & Price, D. 2001. Occupational safety management and engineering (5th edition). Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall. 603 s.

IEC/ISO 31010. 2009. Risk Management - Risk assessment techniques. International electrotechnical commission. 90 s.

ISO-31000. 2009. Risk management - Principles and guidelines. International Organization for Standardization. 24 s.

Kalliokoski, P., Andersson, G., Salminen, V. & Hemilä, J. 2003. BestServ Feasibility Study Final Report. Helsinki, Teknologiateollisuus ry. 61 s.

Kasanen, E., Lukka, K. & Siitonen, A. 1991. Konstruktiivinen tutkimusote liiketaloustieteessä. In: Liiketaloudellinen aikakausikirja. 40, 3, ss. 301-327.

Kim, J. & Wilemon, D. 2002. Focusing the fuzzy front-end in new product development. *R&D Management* , 32, ss. 269-279.

Kivipuro, M., Reunanen, M. & Valkokari, P. 2008. Hallitse RAMS-vaatimukset. *Promaint* , 7, ss. 27-29.

Koen, P. A. 2005. The Fuzzy Front End for Incremental, Platform, and Breakthrough Products. In: K. B. Kahn, *The PDMA Handbook of New Product Development* (2nd edition). Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Inc. ss. 81-91.

Koen, P. A., Ajamian, G. M., Boyce, S., Clamen, A., Fisher, E., Fountoulakis, S., Johnson, A., Puri, P. & Seibert, R. 2002. Fuzzy Front End: Effective Methods, Tools, and Techniques. In: Belliveau, P., Griffin, A. & S. Somermeyer, *The PDMA Toolbook for New Product Development 1*. New York, John Wiley & Sons, Inc. ss. 5-35.

Koen, P., Ajamian, G., Burkart, R., Clamen, A., Davidson, J., D'Amore, R., Elkins, C., Herald, K., Incorvia, M., Johnson, A., Karol, R., Seibert, R., Slavejkov, A. & Wagner, K. 2001. Providing clarity and a common language to the "fuzzy front end". *Research Technology Management* , 44 (2), ss. 46-55.

Komal, Sharma, S. P. & Kumar, D. 2010. RAM analysis of repairable industrial systems utilizing uncertain data. *Applied Computing* , 10, ss. 1208-1221.

Komonen, K. 2002. Käyttövarmuustakuut. Tutkimusraportti BVAL73-021194. Espoo: VTT. 42 s.

Lyytikäinen, A. 2010. RAM-analyysi - käytännön näkökulmia. *Promaint* , 5, ss. 32-35.

Malm, T., Hietikko, M. & Katara, M. 2011. Safety requirements of machinery - The weakest link in design. *Automaatio XIX seminaari*. Helsinki. 6 s.

Markeset, T. & Kumar, U. 2003. Integration of RAMS an risk analysis in product design and development work processes - A case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , 9 (4), ss. 393-410.

Nelson, S. R. & Eubanks, F. 2005. Risk Tools for Technical Development: Hazard Analysis and FMEA. In: K. B. Kahn, *PDMA Handbook of New Product Development* (2nd edition). Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc. ss. 430-441.

O'Connor, P. D. 2002. *Practical Reliability Engineering* (4th edition). Chichester, John Wiley & Sons Ltd. 513 s.

Ojasalo, J. & Ojasalo, K. 2008. *Kehitä teollisuuspalveluja*. Helsinki, Talentum. 326 s.

Paasi, J. & Valkokari, P. 2010. *Elucidating the fuzzy front end* - VTT Publications 743. Espoo, VTT. 160 s.

Paasi, J., Luoma, T., Strong, R. & Zhou, R. 2008. Systematic strategic decision support for innovation development. *European Conference on Management of Technology and Innovation EuroMOT 2008*. Nice, France.

Paasi, J., Valkokari, P., Maijala, P., Luoma, T. & Toivonen, S. 2007. Managing uncertainty in the front end of radical innovation development. *Proc. of IAMOT 2007 16th International Conference on Management of Technology*. Miami, International Association for the Management of Technology. ss. 1306-1324

Paasi, J., Valkokari, P., Maijala, P., Luoma, T. & Toivonen, S. 2009. Uncertainty management in the front end of innovation development. In Meristö, T. & Lahtinen, J. *INNORISK: The Fountain of New Business Creation*. Turku, Corporate Foresight Group CoFi / Åbo Akademi University. ss. 20-29.

Pahl, G. & Beitz, W. 1990. *Koneensuunnitteluoppi*. (U. Konttinen, suomennos) Suomen Metalli-, Kone- ja Sähköteknisen Teollisuuden Keskusliitto, MET. 608 s.

Palukka, P. 2008. *TUR-2400 Luotettavuus- ja riskianalyysi*. Luentomoniste osa B. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto: Turvallisuuden johtaminen ja suunnittelu - yksikkö. 107 s.

PSK 6201. 2003. *Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät 2. painos*. PSK Standardisointi. 30 s.

Salmikuukka, J. 1999. *Käyttövarmuuden hallintamenetelmät*. Helsinki, Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET. 28 s.

Schmidt, J. B. 2005. Gate Decisions: The Key to Manage Risk During New Product Development. In: K. B. Kahn, The PDMA Handbook of New Product Development (2nd edition). Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.ss. 337-348.

SFS-EN 60300-1. 2004. Luotettavuuden hallinta. Osa 1: Luotettavuuden hallintajärjestelmät. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 29 s.

SFS-EN 60300-2. 2004. Luotettavuuden hallinta. Osa 2: Ohjeita luotettavuuden hallintaan. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 91 s.

SFS-EN ISO 13849-1. 2008. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 178 s.

SFS-IEC 50(191). 1996. Sähköteknilinen sanasto. Luotettavuus ja palvelun laatu. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 143 s.

SFS-IEC 60300-3-9. 2000. Luotettavuusjohtaminen osa 3: Käyttöopas. Luku 9: Teknisten järjestelmien riskianalyysi. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 47 s.

Stapelberg, R. F. 2009. Handbook of Reliability, Availability ,Maintainability and Safety in Engineering Design. London, Springer. 827 s.

Suutarinen, J., Kämäräinen, P., Tiisanen, R. & Reunanen, M. 2005. Turvakaari-hanke: Työkoneiden ja työkonejärjestelmien yleinen turvallisuus- ja käyttövarmuustiedon hallintamalli. Tampere, Teknologiaeollisuus ry. 64 s.

Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. 2004. Product Design and Development (3rd edition). New York, McGraw-Hill. 366 s.

VDI 2221. 1987. Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products. VDI Society for Product Development, Design and Marketing. Committee for Systematic Design. 34 s.

Virtanen, S. & Hagmark, P.-E. 1997. Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa - ratkaisujen etsiminen ja valinta, Julkaisu nro B 21. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto. 60 s.

VNa 400/2008. 2008. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400. [WWW]. FINLEX ® - Valtion säädöstietopankki. [viitattu 10.3.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>

VTT. 2009. Näin teet hyvän riskianalyysin. [WWW]. PK-RH Pk-yrityksen riskienhallinta. [viitattu 10.2.2011]. Saatavissa : <http://www.pk-rh.fi/startti-riskienhallintaan/mita-riskienhallinta-on/riskien-tunnistamiskeinoja/nain-teet-hyvan-riskianalyysin?searchterm=hyv%C3%A4+riskianal>

VTT. 2005a. Potentiaalisten ongelmien analyysi. [WWW]. VTT – Riskianalyysit. [viitattu 10.1.2011]. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/riskianalyysit/indexef2c.html>

VTT. 2005b. Työn turvallisuusanalyysi. [WWW]. VTT – Riskianalyysit. [viitattu 26.1.2011]. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/riskianalyysit/indexd9c0.html>



LIITE 1: POA analyysilomake (esimerkki)

|  |           |                 |
|--|-----------|-----------------|
|  | Kohde:    | Analyyisin pvm: |
|  | Laatijat: | Raportti:       |
|  |           | Sivu ( )        |

| Vaaraa aiheuttava tilanne | Seuraukset | Riski | Nykyinen varautuminen | Toimenpide-ehdotukset |
|---------------------------|------------|-------|-----------------------|-----------------------|
|                           |            |       |                       |                       |
|                           |            |       |                       |                       |
|                           |            |       |                       |                       |
|                           |            |       |                       |                       |

LIITE 2: PHA analyysilomake (esimerkki)

|                         |           |                 |
|-------------------------|-----------|-----------------|
| Alustava vaara-analyysi | Laatijat: | Pvm<br>Sivu ( ) |
|-------------------------|-----------|-----------------|

| Kohde / toiminto<br>tms. | Vaara | Syy | Seuraukset | Vaara-<br>luokka | Toimenpiteet |
|--------------------------|-------|-----|------------|------------------|--------------|
|                          |       |     |            |                  |              |
|                          |       |     |            |                  |              |
|                          |       |     |            |                  |              |
|                          |       |     |            |                  |              |

LIITE 3: VVA analyysilomake (esimerkki)

|                           |       |                             |
|---------------------------|-------|-----------------------------|
| Vika- ja vaikutusanalyysi | Kohde | Pvm.<br>Laatija<br>Sivu ( ) |
|---------------------------|-------|-----------------------------|

| Osan<br>no | Nimi | Vian syy | Vioittumistapa | Seuraus | Vaikutus<br>järjestelmään | Vikataajuus | Korjausaika |
|------------|------|----------|----------------|---------|---------------------------|-------------|-------------|
|            |      |          |                |         |                           |             |             |
|            |      |          |                |         |                           |             |             |
|            |      |          |                |         |                           |             |             |
|            |      |          |                |         |                           |             |             |

LIITE 4: Työn turvallisuusanalyysin lomake (esimerkki)

|                           |                             |   |
|---------------------------|-----------------------------|---|
| TYÖN TURVALLISUUSANALYYSI | Kohde:<br>Työ:<br>Laatijat: | Analyyysin pvm:<br>Liite<br>Luonnos<br>Sivu ( ) |
|---------------------------|-----------------------------|---|

| Tehtävän vaihe /<br>työvaihe | Vaara | Vaaran syy | Pisteytys | Vakavuus | Riski | Parannustoimenpiteet |
|------------------------------|-------|------------|-----------|----------|-------|----------------------|
|                              |       |            |           |          |       |                      |
|                              |       |            |           |          |       |                      |
|                              |       |            |           |          |       |                      |
|                              |       |            |           |          |       |                      |

# LIITE 5: Web-kyselyn lomake

## RelSteps – Kysely

### Tervetuloa täyttämään käyttövarmuuden hallinta -kyselyä.

Tarkoituksena on kerätä tietoa käyttövarmuudesta ja sen käyttämisestä yrityksessä, jossa työskentelet. Vaustauksiasi ei kerrota eteenpäin esimiehillesi/ulkopuolisille. Vaustaukset tulevat ainoastaan tutkijoiden käyttöön. Kyselyn tutkimustulokset tullaan julkaisemaan, mutta ilman kenenkään nimiä/yritystietoja. Kyselyyn vastaaminen on täysin turvallista ja luottamuksellista. (Kysymyksiä saattaa puuttua välistä, riippuen vastaajan vastuualasta)

### Henkilön taustatietoa

1) Nimi.

2) Yrityksen nimi, jossa työskentelet.

3) Osaamisalasi/vastuualasi yrityksessä.

Valitse alla olevista vaihtoehdoista parhaiten alaasi vastaava vaihtoehto.

- ☐ Suunnittelija
- ☐ Tuotevastaava
- ☐ Huoltovastaava
- ☐ Käyttövarmuuden asiantuntija

4) Kauanko olet työskennellyt nykyisessä tehtävässäsi? (vuosina)

5) Kauanko olet työskennellyt nykyisessä yrityksessä? (vuosina)

## Yrityksenne nykyinen tila käyttövarmuuden hallinnassa.

6) Miten arvioisit käyttövarmuuden hallinnan olevan yrityksessänne verrattuna kilpailijoihin?

- ☐ Edellä
- ☐ Samalla tasolla
- ☐ Jäljessä

7) Miksi?

8) Miksi yrityksenne on kiinnostunut käyttövarmuudesta? (Valitse tärkein)

- ☐ Asiakkaan asettamat käyttövarmuusvaatimukset.
- ☐ Taloudellinen etu, takuukustannusten minimointi.
- ☐ Huoltotoiminnan kannattavuus, elinkaaripalvelujen myynti.
- ☐ Kilpailuetu / imago. Esim. pystytään rakentamaan käyttövarmuudeltaan tunnettu kone.
- ☐ Joku muu?

9) Onko yrityksessänne käytössä toimintatapaa käyttövarmuuden hallintaan?

- ☐ Standardi, mikä?
- ☐ Oma toimintatapa.
- ☐ Ei vakiintunutta toimintatapaa.

10) Onko yrityksessä käytössänne jokin käyttövarmuuden suunnitteluun liittyvä ohjelmisto?

- ☐ Ei ole käytössä, eikä koeta tarpeelliseksi. Miksi?
- ☐ Ei ole käytössä, mutta tarve olisi olemassa. Miksi?
- ☐ On, mikä/mitkä?

11) Miten ohjelmasta/ohjelmistosta saatua tietoa käytetään/käytettäisiin hyväksi?

## Tiedon keruu käyttövarmuutta varten

12) Miten hankit tietoa komponenttien käyttövarmuudesta? (Valitse max. 3 tärkeintä)

- ☐ Tutkimalla oman yrityksen laitteita koskevia huoltotieto- ja komponenttitietokantoja.
- ☐ Tutkimalla reklamaatitietoja ja asiakaspalautetta.
- ☐ Internetistä.
- ☐ Suoraan komponenttivalmistajalta.
- ☐ Kollegoilta, jotka työskentelevät muissa yrityksissä.
- ☐ Kollegoilta, jotka työskentelevät samassa yrityksessä.
- ☐ Yleisistä vikatietokannoista, esim Oredasta
- ☐ Jotenkin muuten, miten?

13) Miten hankit tietoa suunnittelemienne laitteiden käyttöympäristöstä?

- ☐ Keskustelemalla asiakkaan/käyttäjien kanssa.
- ☐ Tutustumalla asiakkaalle aiemmin suunniteltujen laitteiden käyttöympäristöön.
- ☐ Tuotteita ei räätälöidä asiakkaille.
- ☐ Käyttöympäristöä ei huomioida.

14) Kerätäänkö yrityksessänne tehtäväsi näkökulmasta mielestäsi oikeanlaista tietoa käyttövarmuudesta?

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei, miksi?

15) Onko kerätty tieto tehtäväsi näkökulmasta keskimäärin helposti löydettävissä/saatavissa/haettavissa silloin kun sitä tarvitset?

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei, miksi?

16) Mitkä tiedot ovat saatavilla

helposti?

vaikeasti?

17) Onko kerätty tieto mielestänne luotettavaa? Perustele. (esim. kirjataanko kaikki?)

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei

18) Koetko, että oman organisaatiosi (osasto, tiimi tms.) keräämää tietoa hyödynnetään tehokkaasti yrityksessä?

- ☐ Kyllä
- ☐ En. Miksi?

19) Koetko, että tuottamaasi analyysi- ym. tietoa hyödynnetään suunnittelussa?

- ☐ Kyllä
- ☐ En. Miksi?

20) Koetko, että kunnossapitotiedon kirjaaminen on riittävän helppoa omassa organisaatiossasi?

- ☐ Kyllä
- ☐ En. Miksi?

21) Koetko, että asiakaspalautteen kirjaaminen on riittävän helppoa omassa organisaatiossasi?

- ☐ Kyllä
- ☐ En. Miksi?

22) Seuraatko vastuualueellasi olevien tuotteiden varaosien menekkiä?

- ☐ Kyllä
- ☐ En

23) Seuraatko vastuualueellasi olevien tuotteiden huoltokäyntejä?

- ☐ Kyllä
- ☐ En

24) Kuinka kauan yrityksenne on kerännyt tietoa?

25) Miltä elinkaarijaksoilta yrityksenne kerää systemaattisesti käyttövarmuustietoa?



26) Mitä visioita tiedonkeruun, analysoinnin ja hyödyntämisen suhteen sinulla on oman työsi näkökulmasta - sana on vapaa!

## Käyttövarmuuteen liittyvä ulkoinen verkostoituminen: tiedonvaihto, yhteistyö ja muu viestintä

27) Kuulutko johonkin komponenttivalmistajan asiakas-/kumppaniverkkoyhteisöön?

- ☐ Kyllä, mihin?
- ☐ En

28) Kuulutko johonkin asiakkaanne/asiakkaidenne kumppaniverkkoyhteisöön?

- ☐ Kyllä, mihin?
- ☐ En

29) Kuulutko johonkin muuhun ammatilliseen verkkoyhteisöön, jossa keskustellaan komponenttien käyttövarmuudesta?

- ☐ Kyllä, mihin?
- ☐ En

30) Kuulutko johonkin suunnittelutyökalun käyttäjien verkkoyhteisöön?

- ☐ Kyllä, mihin?
- ☐ En

31) Käytätkö käyttövarmuutta suunnitellessasi joitain muita oman yrityksen ulkopuolisia verkkopalveluita?

- ☐ Kyllä, mitä?
- ☐ En

## Yrityksesi valmistaman laitteen arviointi

Seuraavat kohdat (sivut 5-9) koskevat edustamasi yrityksen tuotevalikoimaa/-perhettä. Esitä kokemukseesi perustuva arvio vikajakaumasta ja vikojen syistä, tarkoitus ei ole suoraan kirjata vikatilastojen osoittamia arvoja. Mikäli koet, etteivät seuraavat kohdat millään tavalla sivua toimenkuvaasi, voit jättää ne vastaamatta. Lähetäthän kuitenkin kyselylomakkeen sivulta 10 löytyvän painikkeen kautta.

33) Laitteen pääenergian lähde?

- Sähkö
- Diesel
- Joku muu, mikä?

34) **Arvioi** tarvitseeko tuotteenne vähemmän /saman verran /enemmän ennakoivaa kunnossapitoa kuin kilpailijoiden? Miksi?

- ☐ Vähemmän
- ☐ Saman verran
- ☐ Enemmän

35) **Arvioi** tarvitseeko tuotteenne vähemmän /saman verran /enemmän korjaavaa kunnossapitoa kuin kilpailijoiden? Miksi?

- ☐ Vähemmän
- ☐ Saman verran
- ☐ Enemmän

36) **Arvioi** tuotteenne vikojen syiden jakautumista prosentteina.

|  | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Käyttöohjeiden vastainen käyttö, käyttäjän virheet                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| Ympäristö (lämpötila, kosteus, korroosio, pöly)                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| Laatu (komponentit, asennustyö, suunnitteluvirhe, huollon virheet) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |

## Vikojen jakautumisen arviointi takuuaikana ja takuuajan jälkeen

37) **Arvioi** miten tuotteenne vikojen määrät jakautuvat prosentteina seuraavien kokonaisuuksien suhteessa toisiinsa nähden vikaantumistilanteessa **takuuaikana**?

|  | 10%                   | 20%                   | 30%                   | 40%                   | 50%                   | 60%                   | 70%                   | 80%                   | 90%                   | 100%                  |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Runko/rakenne (Viat runkorakenteessa esim. hitsiliitoksien murtumat, materiaaliviat, nivelien laakerointi) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Tehonsiirto (Diesel/sähkömoottori, hydraulikka, vaihde, muut toimilaitteet ja renkaat)                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ohjausjärjestelmä (Ohjelmistot, sähköt, anturit, kytkimet, johtosarjat)                                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

38) **Arvioi** miten tuotteenne vikojen määrät jakautuvat prosentteina seuraavien kokonaisuuksien suhteessa toisiinsa nähden vikaantumistilanteessa **takuuajan jälkeen**?

|  | 10%                   | 20%                   | 30%                   | 40%                   | 50%                   | 60%                   | 70%                   | 80%                   | 90%                   | 100%                  |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Runko/rakenne (Viat runkorakenteessa esim. hitsiliitoksien murtumat, materiaaliviat, nivelien laakerointi) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Tehonsiirto (Diesel/sähkömoottori, hydraulikka, vaihde, muut toimilaitteet ja renkaat)                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ohjausjärjestelmä (Ohjelmistot, sähköt, anturit, kytkimet, johtosarjat)                                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

## Vikojen jakautumisen arviointi runkorakenteessa takuuaikana ja takuuajan jälkeen

39) Arvioi runkorakenteen vikojen jakautuminen takuuajana:

|                                   | 10%                   | 20%                   | 30%                   | 40%                   | 50%                   | 60%                   | 70%                   | 80%                   | 90%                   | 100%                  |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Hitsiliitoksen murtuma            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Pulttiliitoksen murtuma           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Materiaalivika                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Laakerivaurio puomiston nivelissä | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muu:                              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

40) Jos valitsin muun, niin kerro mikä?

41) Arvioi runkorakenteen vikojen jakautuminen takuuajan jälkeen:

|                                   | 10%                   | 20%                   | 30%                   | 40%                   | 50%                   | 60%                   | 70%                   | 80%                   | 90%                   | 100%                  |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Hitsiliitoksen murtuma            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Pulttiliitoksen murtuma           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Materiaalivika                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Laakerivaurio puomiston nivelissä | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muu:                              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

42) Jos valitsin muun, niin kerro mikä?

Vikojen jakautumisen arviointi tehonsiirrossa takuuajana ja takuuajan jälkeen

43) Arvioi tehonsiirron vikojen jakautuminen takuuajana:

|                            | 10%                   | 20%                   | 30%                   | 40%                   | 50%                   | 60%                   | 70%                   | 80%                   | 90%                   | 100%                  |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Dieselmoottori             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Sähkömoottori              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hydraulpumppu              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hydrauliventtiili          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hydrauliliitin             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hydrauliletku              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hydraulisylinteri/moottori | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Akseli                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Laakeri                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kardaaninivelet            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Renkaat                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Vaihteisto                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Differentiaali             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muu:                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

44) Jos valitsin muun, niin kerro mikä?

45) Arvioi tehonsiirron vikojen jakautuminen takuuajan jälkeen:

|                            | 10%                   | 20%                   | 30%                   | 40%                   | 50%                   | 60%                   | 70%                   | 80%                   | 90%                   | 100%                  |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Dieselmoottori             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Sähkömoottori              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hydraulpumppu              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hydrauliventtiili          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hydrauliliitin             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hydrauliletkurikko         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hydraulisylinteri/moottori | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Akseli                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Laakeri                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kardaaninivelet            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Renkaat                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Vaihteisto                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Differentiaali             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muu:                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

46) Jos valitsin muun, niin kerro mikä?

## Vikojen jakautumisen arviointi ohjausjärjestelmissä takuuaikana ja takuuajan jälkeen

47) Arvioi ohjausjärjestelmien vikojen jakautuminen takuuajana:

[illegible]

48) Jos valitsin muun, niin kerro mikä?

Page 10 of 10

49) Arvioi ohjausjärjestelmien vikojen jakautuminen takuuajan jälkeen:

|                         | 10%                   | 20%                   | 30%                   | 40%                   | 50%                   | 60%                   | 70%                   | 80%                   | 90%                   | 100%                  |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Kytkimissä/ohjaimissa   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Antureissa              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Johdotuksissa           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Liittimissä             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Tietokoneet, laitevika  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Tietokoneet, ohjelmisto | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muu:                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

50) Jos valitsin muun, niin kerro mikä?

51) Jos mieleesi tulee jotain kyselyyn liittyvää, jota haluat tarkentaa tai kommentoida, niin sana on vapaa.

Kiitoksia kyselyyn osallistumisesta! Muista painaa-lähetä nappia tallentaaksesi vastaukset!

Alla selvitys kyselyn tietyille vastaajaryhmille osoitetuista kysymyksistä vastualueittain:

Huoltovastaavan kysymykset:

18. Koetko, että oman organisaatiosi (osasto, tiimi, tms.) keräämää tietoa hyödynnetään tehokkaasti yrityksessänne.

20. Koetko, että kunnossapitotiedon kirjaaminen on riittävän helppoa omassa organisaatiossasi?

21. Koetko, että asiakaspalautteen kirjaaminen on riittävän helppoa omassa organisaatiossa.

22. Seuraatko vastualueellasi olevien tuotteiden varaosamenekkiä?

23. Seuraatko vastualueellasi olevien tuotteiden huoltokäyntejä?



Käyttövarmuuden asiantuntija

12. Miten hankit tietoa komponenttien käyttövarmuudesta?

18. Koetko, että oman organisaatiosi (osasto, tiimi tms.) keräämää tietoa hyödynnetään tehokkaasti yrityksessänne.

19. Koetko, että tuottamaasi analyysi- ym. tietoa hyödynnetään suunnittelussa?

Suunnittelija

12. Miten hankit tietoa komponenttien käyttövarmuudesta?

13. Miten hankit tietoa suunnittelemienne laitteiden käyttöympäristöstä?

Tuotevastaava

21. Koetko, että asiakaspalautteen kirjaaminen on riittävän helppoa omassa organisaatiossasi?

22. Seuraatko vastualueellasi olevien tuotteiden varaosa menekkiä?

23. Seuraatko vastualueellasi olevien tuotteiden huoltokäyntejä?

# LIITE 6: Varsinaisten haastattelujen kysymysrunko

## Johdanto-osuus

Yritysten vastauksiin liittyvän yhteenvedon läpikäynti

- millä tasolla käyttövarmuussuunnittelun prosessit ja käytännöt ovat tällä hetkellä,
- mitä työkaluja prosessien tukena käytetään?
- vertaillaan vastauksia soveltuvin osin (kaikki vastaukset vs. kohdeyritys).

Miten ymmärretään käyttövarmuus ja sen osatekijät?

## Tiedon keruu käyttövarmuutta varten

Mitä on käyttövarmuustieto teidän näkökulmastanne?

Oman yrityksen kollegat ja komponenttien käyttövarmuustiedon keruu heiltä - miten käytännössä tapahtuu, millaisissa tilanteissa, miten "asiantuntija" löytyy?

- onko vain oman yksikön kollegoita vai koko yrityksen?
- millaisissa teemoissa erityisesti käännyt kollegan puoleen?
- millaisissa asiayhteyksissä ja foorumeilla keräätte ja vaihdatte tietoa?
- oletko tyytyväinen näihin menettelyihin? Jos et, miten niitä pitäisi mielestäsi kehittää?

Millaista/mitä takuuajan jälkeistä käyttövarmuus- ja käyttöympäristötietoa pitäisi erityisesti kerätä?

Miten käyttövarmuustiedonkeruuta pitäisi kehittää, jotta se palvelisi sinua paremmin?

- takuuajan tiedonkeruu
- takuuajan jälkeinen tiedonkeruu

Mitkä komponentit (ja minkä valmistajan) ovat tuotteenne/tuotteidenne käyttövarmuuden näkökulmasta erityisen kriittisiä?

Mitkä ovat nykyiset käytännöt varaosien menekin ennakoimiseksi ja poikkeamien (ongelmakohtien) tunnistamiseksi?

Komponenttitoimittajalta hankittava käyttövarmuustieto

- millaista tietoa pyydät/tarvitset komponenttitoimittajalta?
- miten kontaktoit komponenttitoimittajaa?
- missä muodossa saat komponenttitoimittajalta käyttövarmuusdataa?
- millaisia medioita käytätte käyttövarmuustiedon hallintaan?
- oletko tyytyväinen näihin menettelyihin? Jos et, miten niitä pitäisi mielestäsi kehittää?
- ovatko komponenttitoimittajat halukkaita antamaan käyttövarmuustietoja? Pitäisikö olla?
- minkä tyyppisistä komponenteista käyttövarmuustietoa saadaan eniten?

Asiakkailta ja käyttäjiltä hankittava käyttövarmuustieto/käyttöympäristötieto

- mitä tietoa asiakkaalta ja asiakkaan käyttäjiltä saadaan?
- millaisissa asiayhteyksissä ja/tai foorumeilla saat/hankit asiakkailta ja käyttäjiltä käyttöympäristötietoa?
- oletko tyytyväinen näihin menettelyhin? Jos et, miten niitä pitäisi mielestäsi kehittää?
- ovatko asiakkaat yhteistyöhaluisia tässä asiassa? Pitäisikö olla?

Suunnittelijat: missä suunnitteluprosessin vaiheissa hyödynnät/hyödyntäisit eri tavoin tuotettua käyttövarmuus- ja käyttöympäristötietoa? Ja miten?

Millä hierarkiatasolla laitteiden käyttövarmuutta mitataan ja seurataan?

Millä periaatteilla ja mihin tietoon tukeutuen kunnossapito-ohjelmaa ja erityisesti tehtävien aikataulutusta suunnitellaan kunnossapitopalveluissa?

### **Käyttövarmuusvaatimukset ja tavoitteet**

Millaiset käyttövarmuusvaatimukset/-tavoitteet tuotteellenne on asetettu?

Millä tavalla asiakas osaa ilmaista käyttövarmuuteen liittyviä vaatimuksia ja miten tähän kyetään vastaamaan tietoa välittämällä? Miten asiakkaat eroavat tässä suhteessa?

Miten allokoidaan käyttövarmuusvaatimukset osajärjestelmille?

Välittyvätkö strategia ja vaatimukset riittävällä tasolla suunnitteluun asti?

### **Ohjelmistotyökalut ja niiden hyödyntäminen**

Käytettävät käyttövarmuussuunnittelun ohjelmistot ja työkalut:

- Mitä ominaisuuksia työkalussa on ja mitä niistä käytetään?
- Mitä ominaisuuksia on tunnistettu tarvittavan, muttei ole saatavilla nykyisissä ohjelmistoissa?
- Mitkä piirteet ohjelmistossa ovat hyviä / huonoja? Mihin ensisijaisesti pitäisi keskittyä parannuksissa ja mitä hyötyä sillä tavoitellaan?

Mitä tuloksia työkalun käytöstä odotetaan? Mitä työkalun odotetaan tukevan?

Tiedonkeruu ohjelmiston näkökulmasta haasteet, nykytilanne, kehitettävät asiat?

Ohjelmistotyökalun käytettävyys

- Mitkä piirteet tukevat hyvää käyttökokemusta?

Työkalun integroitavuus tuoteprosesseihin ja muihin ohjelmistoihin

- Miten integrointi mielestänne tulisi toteuttaa ja mitä näkökohtia erityisesti huomioida?

Mitkä ovat keskeisimmät haasteet?